

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Patentschrift  
10 DE 43 05 522 C 2

21 Aktenzeichen: P 43 05 522.2-53  
22 Anmeldetag: 17. 2. 83  
43 Offenlegungstag: 15. 9. 94  
46 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 28. 3. 96

51 Int. Cl.®:  
G 06 F 15/18  
G 06 F 19/00

DE 43 05 522 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:

Daimler-Benz Aktiengesellschaft, 70587 Stuttgart,  
DE

72 Erfinder:

Jüngst, Ernst-Werner, Dr., 1000 Berlin, DE;  
Meyer-Gramann, Klaus-Dieter, Dr., 1000 Berlin, DE

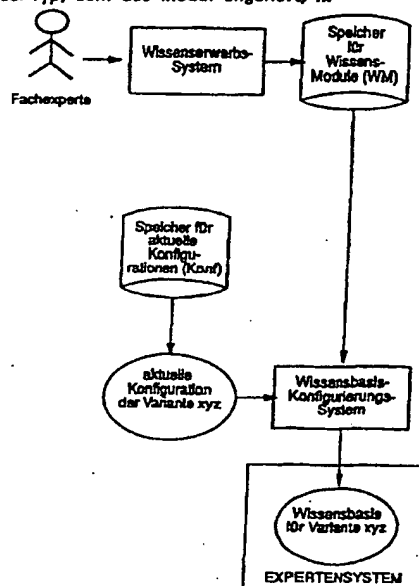
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 39 11 465 A1  
US 50 99 438  
US 48 66 635

54 Einrichtung zur rechnergestützten Diagnose eines aus Modulen bestehenden technischen Systems

57 Einrichtung zur rechnergestützten Diagnose eines aus Modulen bestehenden technischen Systems, bestehend aus einer Informationsverarbeitungseinrichtung mit Lesezugriff auf einen ersten Speicher (WM) und einen zweiten Speicher (Konf) sowie mindestens zeitweise mit Schreibzugriff auf einen dritten Speicher (Wb) in einer ersten Phase sowie mit mindestens zeitweisem Lesezugriff auf den dritten Speicher (Wb) in einer zweiten Phase, wobei im ersten Speicher (WM) Informationen über das technische System, über dessen Störungen und über dessen Diagnose so strukturiert abgespeichert sind, daß es für den Typ von technischen Systemen, dem das technische System angehört, ein Wissens-Modul gibt, das alle benötigten Informationen über den inneren Aufbau eines technischen Systems dieses Typs sowie bei Bedarf über die Störungen, Abhilfen und Untersuchungen an einem technischen System dieses Typs enthält, sowie für jeden Typ von Modulen, der mindestens einmal im technischen System vorkommt, jeweils ein Wissens-Modul gibt, das alle benötigten Informationen über den inneren Aufbau eines Moduls dieses Typs, das elementar oder aus anderen Modulen zusammengesetzt sein kann, sowie bei Bedarf über die Störungen, Abhilfen, Untersuchungen und Resultate an einem Modul dieses Typs enthält, dadurch gekennzeichnet, daß im Wissens-Modul für den Typ, dem das technische System angehört, die Information enthalten ist, welche Rollen (Teilfunktionen) in einem technischen System dieses Typs besetzt sein müssen, damit das technische System seine Soll-Funktion erfüllen kann, für jeden Typ von zusammengesetzten Modulen, die in einem technischen System des Typs auftreten, im Wissens-Modul für diesen Modul-Typ die Information enthalten ist, welche Rollen (Teilfunktionen) in einem Modul dieses Modul-Typs besetzt sein müssen, damit das Modul seine Soll-Funktion erfüllen kann, im zweiten Speicher (Konf) die Konfiguration des techni-

schen Systems abgespeichert ist und der dritte Speicher (Wb)  
— ein Wissens-Modul für das technische System enthält, das aus dem Wissens-Modul für den Typ, dem das technische System angehört, erzeugt ist, und  
— ein Wissens-Modul für jedes Modul im technischen System enthält, das aus dem Wissens-Modul für den Modul-Typ, dem das Modul angehört, ...



DE 43 05 522 C 2

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Einrichtung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 oder des Anspruchs 10. Eine solche Einrichtung ist durch die US-PS 4 866 635 bekannt.

Immer dann, wenn ein technisches System seine Soll-Funktion nicht oder unzureichend erbringt, ist eine technische Diagnose an diesem System erforderlich. Die technische Diagnose besteht daraus, daß die Ursache des beobachteten Fehlverhaltens ermittelt und dann eine Abhilfe durchgeführt wird, die die Ursache beseitigt. Für komplexe technische Systeme erfordert eine Diagnose das Wissen eines erfahrenen menschlichen Experten. Diese aber sind teuer und oft nicht verfügbar. Daher muß ein Weg gefunden werden, ihr Wissen verfügbar zu machen, ohne daß sie selber in Anspruch genommen werden.

Eine moderne Lösung dieser Anforderung ist es, ein Expertensystem für eine technische Diagnose bereitzustellen. Leistungsfähige Expertensysteme vermögen die Verfügbarkeit technischer Systeme entscheidend zu steigern und die Einsatzkosten zu senken.

Ein Expertensystem wird heutzutage typischerweise als wissensbasiertes System konstruiert, d. h. als ein Software-System, in dem das Wissen des menschlichen Experten in einer Wissensbasis strukturiert abgespeichert ist. Die übrigen Bestandteile des Expertensystems sind von der Wissensbasis logisch getrennt und daher wiederverwendbar, sie werden zusammenfassend Expertensystem-Schale genannt. Zur Expertensystem-Schale gehören die Problemlösungs-Komponente, die eine Diagnose durchführt und hierfür die Wissensbasis auswertet, die Erklärungs-Komponente, die dem Benutzer die Aktionen des Expertensystems auf Wunsch erklärt, und die Benutzer-Oberfläche. Ein wissensbasiertes System wird gefertigt, indem man eine Expertensystem-Schale auswählt und die Wissensbasis mit dem strukturierten Wissen des menschlichen Experten füllt.

Diagnose-Expertensysteme werden in symptom-basierte und modell-basierte Systeme klassifiziert:

— Die Wissensbasis eines symptom-basierten Expertensystems enthält das Erfahrungs-Wissen des menschlichen Experten über die Störungen am technischen System und über die Zusammenhänge zwischen diesen Störungen und den während einer Diagnose ermittelbaren Symptomen.

— Die Wissensbasis eines modell-basierten Expertensystems enthält einerseits ein Modell, das die Struktur und das funktionale Zusammenwirken der Module des zu diagnostizierenden technischen Systems beschreibt, andererseits eine Beschreibung des Soll-Verhaltens und des Verhaltens im Störungsfalle aller Module.

Ein modellbasiertes Expertensystem kann nur dann erstellt werden, wenn man ein genügend genaues Modell für die Struktur und das funktionale Zusammenwirken der Module des zu diagnostizierenden technischen Systems erstellen kann. Dies ist in vielen Anwendungen zu aufwendig oder völlig unmöglich, da man das Innenleben des technischen System nicht genau genug beschreiben kann. In diesem Falle bleibt nur der symptom-basierte Ansatz.

Der klassische und oft verwendete Ansatz, das Erfahrungswissen eines Experten formalisiert darzustellen, ist der, das Wissen in Regeln der Form "FALLS Prämis-

se DANN Konklusion" zu strukturieren. Die Prämisse jeder dieser Regel ist ein einzelnes Symptom oder eine logische Verknüpfung von Symptomen, die am technischen System beobachtet werden können; die Konklusion eine Aussage darüber, welche Störungen bei Erfüllung der Prämisse vorliegen können oder müssen und welche auszuschließen sind. Diese Strukturierung bieten z. B. "EXSYS" und "NexpertOBJECT", zwei Werkzeuge zum Bau von Expertensystemen.

Ein weiterer oft benutzter Ansatz ist der des Fehlersuchbaums. Die Wissensbasis enthält einen Fehlerbaum, das ist ein gerichteter Graph, dessen Knoten für die am technischen System möglichen Störungen und dessen Kanten für die kausalen Zusammenhänge unter ihnen stehen. Die Blätter stehen für die möglichen Ursachen. Weiterhin enthält die Wissensbasis Zusammenhänge zwischen Störungen und Symptomen. Das Expertensystem "navigiert" in diesem Fehlersuchbaum mit dem Ziel, ein Blatt zu erreichen. Hierzu wertet es jedes gewonnene Symptom aus, um von einem Knoten zu einem anderen zu gelangen. Diese Vorgehensweise wendet beispielsweise die Expertensystem-Schale "testbench" an (entspr. US-PS 48 66 635).

Als Engpaß bei der Erstellung von symptom-basierten Expertensystemen hat sich der Wissenserwerb erwiesen, das ist der Vorgang, durch den das Erfahrungswissen eines menschlichen Diagnose-Experten erfragt oder sonstwie erfaßt wird und in die Struktur gebracht wird, in der das Expertensystem das Wissen auswerten kann. Der Wissenserwerb ist oft teuer, zeitaufwendig und fehleranfällig.

Der Engpaß und Kostenfaktor des Wissenserwerbs fällt dann besonders ins Gewicht, wenn man Expertensysteme für alle Varianten einer Klasse von technischen Systemen bereitstellen will und nur ein einziges Expertensystem benötigt, das ein häufig eingesetztes technisches System diagnostiziert. Eine Klasse technischer Systeme besitzt oft hohe Variantenvielfalt: Um ein technisches System an die Wünsche des Kunden anzupassen, wird es typischerweise aus Modulen zusammengesetzt. Alternative oder optionale Module werden so ausgewählt, daß ihr Zusammenwirken die gewünschte Funktionalität erbringt. Schon bei einer verhältnismäßig kleinen Zahl von Alternativen oder Optionen hat man eine gewaltige Zahl möglicher Varianten: Bei nur 10 Modulen mit je 3 Alternativen gibt es bereits  $3^{10} = 59.049$  Kombinations-Möglichkeiten.

Bislang war kein Verfahren bekannt, wie man im Falle hoher Variantenvielfalt effizient Wissensbasen erstellt. Sehr ineffizient ist es, für jede Variante "von Hand" eine eigene Wissensbasis zu erstellen oder eine Wissensbasis "von Hand" an eine Variante anzupassen. Darüber hinaus liegt oft nicht genug Erfahrungswissen für eine bestimmte Variante vor.

Will man eine einzige Wissensbasis erstellen, die für jede Variante gültig ist und daher universell eingesetzt werden kann, so muß man im strukturierten Wissen explizit Bezug auf die verschiedenen Varianten nehmen. Das Verhalten und damit das Wissen über ein Modul des technischen Systems hängt oft davon ab, von welcher Version ein anderes Modul ist. Beim Wissenserwerb muß man alle möglichen Versionen berücksichtigen — ihr Verhalten kann sich gerade im Störungsfalle erheblich unterscheiden. Fallunterscheidungen für die verschiedenen Varianten des technischen Systems sind erforderlich, und aufgrund der gewaltigen Zahl von Kombinations-Möglichkeiten muß man viele Fallunterscheidungen treffen. Das strukturierte Wissen wird äu-

Berst umfangreich. Es ist kaum noch zu übersehen, läßt sich nur schwer pflegen und validieren und erfordert viel Speicherplatz.

Oft muß ein Expertensystem mehrere oder gar alle Varianten des technischen Systems diagnostizieren können — beispielsweise dann, wenn das Expertensystem in einer KFz-Werkstatt eingesetzt wird und viele verschiedene KFz-Varianten zu reparieren sind. Die bislang bekannten Vorgehensweisen weisen erhebliche Nachteile auf:

— Die Nachteile einer universell einsetzbaren Wissensbasis wurden bereits genannt.

— Ist ein technisches System zu diagnostizieren, so wird vor der eigentlichen Diagnose die Wissensbasis "von Hand" aus Bestandteilen zusammengesetzt und damit auf die jeweilige Variante zugeschnitten. Der Mensch, der diese Tätigkeit vornimmt, muß selber dafür Sorge tragen, daß die Bestandteile zusammenpassen. Diese Tätigkeit ist zeitraubend, kostenträchtig und nur von Spezialisten zu erledigen, da sie gute Kenntnisse der Struktur der Wissensbasis erfordert.

— Dem Expertensystem wird für jede Variante eine eigene Wissensbasis vorab zur Verfügung gestellt. Ist ein technisches System zu diagnostizieren, so wählt das Expertensystem die passende Wissensbasis aus und verwendet sie. Das Expertensystem kann nur die Varianten diagnostizieren, für die es eine Wissensbasis besitzt; man muß also vorhersehen, welche Varianten möglicherweise einer Diagnose bedürfen werden. Andere Varianten kann das Expertensystem überhaupt nicht diagnostizieren. Bei jeder neu zum Einsatz gelangenden Variante muß eine neue Wissensbasis ausgeliefert werden. Die Menge der Wissensbasen erfordert großen Speicherplatz.

Ein technisches System verändert sich oft im Laufe seines Einsatzes: ein Modul wird durch ein anderes ersetzt, das sich vom ersten diagnoserelevant unterscheidet. Bislang war keine Methode bekannt, wie man die Wissensbasis eines Expertensystems für dieses technische System effizient aktualisiert. Die bislang bekannten Verfahren erfordern, daß die gesamten Wissensbasis nach Nennungen des "alten" Moduls durchsucht wird und man "von Hand" das vom "alten" Modul abhängige Wissen abändert.

Die DE 39 11 465 A1 beschreibt die rechnergestützte Konfiguration technischer Systeme. Konfigurieren ist die Auswahl von Komponenten aus einer vorgegebenen Menge von Komponenten-Typen mit dem Ziel, ein technisches System zu finden, das eine gegebene Spezifikation erfüllt. Konfigurieren ist also eine synthetische Aufgabe; das behandelte technische System existiert zu Beginn des Konfigurierens noch nicht. Anders ist dieses bei einer Diagnosevorrichtung. Die technische Diagnose, auf die sich die Erfindung bezieht, besteht nämlich in der Identifikation und Beseitigung der Ursachen für Störungen, die an einem technischen System ermittelt wurden. Diagnose ist demnach eine analytische Aufgabe, wobei das behandelte technische System zu Beginn der Diagnose bereits existiert.

Durch die US-PS 5 099 436 ist eine Einrichtung zur Fehler-Diagnose bekannt, bei der das Expertensystem eine Liste fehlerverdächtiger Komponenten führt. Diese Liste wird während der Diagnose laufend verändert. In der Wissensbasis sind Operatoren vordefiniert, die diese

Liste verändern. Ergebnis einer Diagnose ist hier im günstigsten Falle, daß das Expertensystem eine einzige defekte Komponente nennt, und im allgemeinen Falle, daß das Expertensystem eine Liste der Komponenten präsentiert, die die Komponenten nach absteigender Wahrscheinlichkeit gestört zu sein, sortiert auflistet. Dieser Ansatz vermag daher nicht zwischen verschiedenen Fehlern an einer Komponente zu differenzieren. Verschiedene Fehler können jedoch unterschiedliche Abhilfen erfordern, so daß diese bekannte Einrichtung nur für solche technische Systeme und Anlagen geeignet ist, an denen Störungen stets durch Austausch einer Komponente und nie durch andersartige Abhilfen beseitigt werden.

Die eingangs bereits erwähnte US-PS 4 866 635 sieht eine Einrichtung vor, die ein technisches System diagnostiziert, indem sie unter dem weiter oben erläuterten Ansatz des Fehlersuchbaums den Fehlerbaum mit dem Ziel abarbeitet, ein Blatt zu erreichen. Ein Blatt steht für eine (Fehler-)Ursache. Strategie ist es, solange von einem Knoten zu einem Nachfolger überzugehen, bis eine Wurzel erreicht ist. Oft ist es jedoch nicht möglich, im Fehlerbaum eindeutig zu einem Nachfolger zu verzweigen, da die aktuell verfügbaren Symptome keinen eindeutigen Schluß zulassen. In diesem Falle ist es bei der bekannten Einrichtung erforderlich, probeweise zu einem Nachfolger zu verzweigen, also eine Hypothese aufzustellen. Erweist sich diese Entscheidung zu einem späteren Zeitpunkt als falsch, so muß das Expertensystem zum "alten" Knoten zurückspringen. Dieses Vorgehen ist zeitaufwendig und daher teuer. Auch ist eine nach dem Prinzip der US-PS 4 866 635 arbeitende Einrichtung prinzipiell nicht in der Lage, in einer einzigen Abarbeitung des Fehlerbaums eine Mehrfach-Ursache zu finden, da es Ziel ist, ein einziges Blatt zu identifizieren.

Als Verbesserung einer solchen bekannten Einrichtung stellt sich für die Erfindung die Aufgabe, eine Diagnoseeinrichtung für ein aus mehreren technischen Modulen bestehendes technisches System anzugeben, die eine einfache automatische Anpassung an jeweilige, lediglich ein oder mehrere Module betreffende Diagnosezustände ermöglicht und damit nur wenig Laufzeit und Speicherplatz innerhalb ihrer Informationsverarbeitung benötigt.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung durch die in den Ansprüchen 1 oder 10 gekennzeichneten Merkmale gelöst.

Die technische Lehre gemäß der Erfindung schreibt vor, wie bei der Einrichtung das für eine Diagnose benötigte Wissen des Experten bei der formalisierten Abspeicherung aufgeteilt ist. Diese Aufteilung erfolgt analog zur Modularisierung des technischen Systems. Das Wissen über einen Modul-Typ M-Typ, der in einer Variante des technischen Systems mindestens einmal auftritt, ist so strukturiert, daß es für alle Exemplare vom Typ M-Typ gilt. Alles für eine Diagnose benötigte Wissen über M-Typ wird nach dem Wissenserwerb in einem logischen Modul zusammengefaßt und abgespeichert. Dieses logische Modul ist als "Wissens-Modul" bezeichnet. Die Wissensbasis für eine Variante wird automatisch durch Konfigurierung von Wissens-Modulen anhand der aktuellen Konfiguration der Variante erstellt.

Bei der Abarbeitung des durch die Einrichtung nach der Erfindung erstellten Fehlerbaums wird automatisch anhand der ermittelten Ursachen die angemessene Abhilfe ermittelt. Dabei bedarf es keiner später eventuell zu korrigierenden Hypothese über das weitere Vorge-

hen des Expertensystems. Die Einrichtung läßt es auch zu, in einem einzigen Diagnoseschritt Mehrfach-Ursachen für ein Fehlverhalten des technischen Systems zu diagnostizieren und die geeignete Abhilfe zu bestimmen.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Einrichtung nach der Erfindung sind in den übrigen Ansprüchen gekennzeichnet.

Die Erfindung soll im folgenden für Ausführungsbeispiele anhand der Zeichnung erläutert werden. Es zeigt Fig. 1 wie eine Wissensbasis automatisch aus Wissens-Modulen zu konfigurieren ist,

Fig. 2 die Zusammenhänge unter den Begriffen "Einheiten", "Systeme", "Komponenten", "Teilsysteme" und "technisches System".

Fig. 3 die Begriffe und Zusammenhänge des semantischen Netzes, das eine mit der Einrichtung nach der Erfindung automatisch konfigurierte Wissensbasis strukturiert.

Fig. 4 die drei möglichen Arten einer Relation zwischen einem Einheits-Typ und einer Störung.

Fig. 5 die zwei möglichen Arten einer Relation zwischen einer Rolle in einem System-Typ und einer Störung.

Fig. 6 (mit den Folgefiguren 6a, 6b) wie eine Komponente der Einrichtung nach der Erfindung automatisch einen vollständigen Störungsgraphen für ein technisches System erzeugt.

Fig. 7 wie während der Generierung des vollständigen Störungsgraphen das Störungsgraph-Modul für eine Einheit in das Störungsgraph-Modul eines System-Typs an dem Platz einer Rolle eingefügt wird.

Fig. 8 eine Veranschaulichung der in Fig. 7 gezeigten Einfügung.

Fig. 9 wie ein Rechner ein technisches System diagnostiziert, indem er eine durch die Einrichtung nach der Erfindung erzeugte Wissensbasis abarbeitet.

Fig. 10 die Auswertung eines Resultats während einer Diagnose.

Fig. 11 während der Auswertung eines Resultats die Auswertung der Erklärungen für das Resultat.

Fig. 12 die Gewinnung der Zusammenhänge zwischen Resultaten und Ursachen, die für eine Diagnose nach dem in den Fig. 6, 6a, 6b gezeigten Vorgehen benötigt werden.

Fig. 13 (mit Fortsetzungsblatt) die Gewinnung von Informationen über die aktuelle Konfiguration eines technischen Systems automatisch aus Informationen, die Einheits-Typen zugeordnet sind.

Wie Fig. 1 zeigt, sind die wesentlichen Informationen für die erfindungsgemäße Einrichtung in zwei Speichern enthalten:

- Ein erster Speicher WM enthält alle benötigten Wissens-Module. Für jeden Modul-Typ, das in mindestens einer Variante des technischen Systems auftritt, ist das zugehörige Wissen-Modul im ersten Speicher WM enthalten. Außerdem ist im ersten Speicher ein Wissens-Modul für das technische System als Ganzes enthalten, das beschreibt, wie die anderen Wissens-Module zusammengefügt sind.
- Ein zweiter Speicher Konf enthält die aktuelle Konfiguration der zu diagnostizierenden Variante, d. h. die Information, aus welchen Modulen die gerade betrachtete Variante besteht und von welchem Modul-Typ jedes Modul ist.

Die Wissens-Module im ersten Speicher WM werden

im Verlaufe des Wissenserwerbs erstellt. Ein Wissens-Modul in WM wird immer dann für eine Wissensbasis-Generierung verwendet, wenn in der Variante, für die eine Wissensbasis zu erzeugen ist, der reale Modul-Typ mindestens einmal auftritt. Die Informationen im zweiten Speicher Konf ist spezifisch für die zu diagnostizierende Variante, während die Wissens-Module für jede andere Variante des technischen Systems wiederverwendet werden können.

Die Wissensbasis für eine Variante wird durch Konfiguration von Wissens-Modulen erstellt: Eine Komponente Wb-Ersteller der Einrichtung nach der Erfindung dient zur Erzeugung der Wissensbasis. Die Komponente ermittelt durch Lesezugriff auf Konf die aktuelle Konfiguration der Variante und erzeugt dann für jedes reale Modul in der Variante eine Kopie des Wissens-Moduls für den Typ, dem das reale Modul angehört. Tritt ein reales Modul n-mal in der Variante auf, so werden n Kopien der Wissens-Module erzeugt. Alle so erzeugten Kopien der Wissens-Module fügt die Komponente Wb-Ersteller automatisch zusammen und legt sie in einem dritten Speicher Wb ab.

Bevor beschrieben wird, wie die Wissens-Module strukturiert sind und wie sie automatisch zusammengefügt werden, wird das Ergebnis der Zusammenfügung beschrieben, also dargelegt, welche Struktur eine automatisch erzeugte Wissensbasis hat. Die Informationen in der Wissensbasis sind als semantisches Netz organisiert. Die Knoten dieses Netzes stehen für Begriffe, die für die Diagnose des technischen Systems bedeutsam sind, die Kanten für Zusammenhänge zwischen diesen Begriffen. Diese Begriffe und Zusammenhänge werden im folgenden erläutert.

— Das technische System besteht aus Modulen, Module haben Teilmodule usw. Die für die jeweilige Diagnoseaufgabe kleinsten austauschbaren Einheiten werden als elementare Module aufgefaßt und im folgenden "Komponenten" genannt. Für alle zusammengesetzten Module wird der Oberbegriff "Teilsysteme" benutzt. Für die Teilsysteme und das technische System als Ganzes wird der Oberbegriff "Systeme" verwendet. Für Systeme und Komponenten wird der Oberbegriff "Einheiten" benutzt. Fig. 2 zeigt den Zusammenhang unter diesen Begriffen.

— An Einheiten treten Störungen auf. Der Begriff "Störung" bezeichnet jede Art von fehlerhaftem Verhalten oder fehlerverursachendem Zustand der Einheit.

— Störungen stehen in kausalen Zusammenhängen untereinander. Ein kausaler Zusammenhang ist von der Form "Störung A ist Folge von Störung B". Die kausalen Beziehungen unter Störungen bilden den Störungsgraph für das technische System.

— Eine Störung, die nicht Folge einer anderen Störung ist und daher ein Blatt des Störungsgraphen ist, wird als Einfach-Ursache bezeichnet. Ziel einer Diagnose ist, die aktuell am technischen System vorliegende Einfach-Ursache zu identifizieren — oder die aktuelle Mehrfach-Ursache, die aus mehreren gleichzeitig aufgetretenen Einfach-Ursachen besteht.

— Jeder Einfach-Ursache ist eine Abhilfe zugeordnet, das ist eine Maßnahme oder eine Folge von Maßnahmen, die die Einfach-Ursache beseitigen.

— Um im Verlaufe einer Diagnose herauszufinden, welche Ursache am technischen System vorliegt,

werden Untersuchungen durchgeführt, und zwar entweder vom Expertensystem oder von einer anderen Operationseinheit.

— Die möglichen Ergebnisse einer Untersuchung heißen Resultate. Das Soll-Resultat einer Untersuchung ist das Resultat, das die Untersuchung beim störungsfreien technischen System hat.

— Um ein während einer Diagnose gewonnenes Resultat auswerten zu können, ist es logisch mit Störungen verbunden. Zwei Arten von Relationen zwischen einer Störung und einem Resultat werden unterschieden:

- Eine Störung "erklärt" ein Resultat, wenn die Störung für das Resultat verantwortlich gemacht werden kann.
- Eine Störung "ist unvereinbar mit" einem Resultat.

Diese beiden Relationen schließen einander aus, oft besteht zwischen einer Störung und einem Resultat keine der beiden Relationen.

Fig. 3 illustriert die Begriffe und Zusammenhänge des semantischen Netzes, das eine mit der Einrichtung nach der Erfindung automatisch konfigurierte Wissensbasis strukturiert.

Damit ein effizienter Wissenserwerb möglich ist und damit erfindungsgemäß eine Wissensbasis automatisch aus Wissens-Modulen konfiguriert werden kann, muß die Organisation der in den Wissens-Modulen enthaltenen Informationen folgenden Anforderungen genügen:

— Die Informationen über einen Einheits-Typ müssen so im Wissens-Modul strukturiert sein, daß sie nicht davon abhängen, wie eine Einheit dieses Typs verwendet wird.

— Die Kopien der Wissens-Module, die die Komponente Wb-Ersteller erzeugt, müssen automatisch aufgrund der Informationen in den Speichern WM und Konf zusammengefügt werden.

— Für das technische System als Ganzes muß es ein Wissens-Modul geben, das festlegt, wie die Wissens-Module für die Teilsysteme zusammenzufügen sind. Zweckmäßigerweise hat dieses Wissens-Modul die gleiche Struktur wie eines für einen Teilsystem-Typ.

— Das Wissens-Modul für einen System-Typ darf nicht davon abhängen, von welchen Typen die Untereinheiten eines Exemplars des Systems-Typs sind, da sonst das Problem der Variantenvielfalt die Erstellung der Wissens-Module ineffizient macht. Das Wissens-Modul muß aber die Folgen beschreiben, die eine Störung an einer Untereinheit hat.

— Das Wissen über ein Teilsystem muß sich genauso aus Wissens-Modulen konfigurieren lassen wie die Wissensbasis für das technische System selbst.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, gibt es ein Wissens-Modul für das technische System als Ganzes und je ein Wissens-Modul für jeden Teilsystem- und jeden Komponenten-Typ, der in dem technischen System mindestens einmal auftritt. Abkürzend gesprochen: es gibt ein Wissens-Modul pro Einheits-Typ. Im ersten Speicher WM ist jedes Wissens-Modul in einer Datenstruktur "Wissens-Modul" abgelegt.

Beim Wissenserwerb werden alle Wissens-Module erstellt und abgespeichert. Das Wissens-Modul für einen Einheits-Typ E-Typ faßt alles diagnoserelevante Wissen über E-Typ zusammen. Abgespeichert sind

— ein Störungsgraph-Modul für E-Typ, der aus allen Störungen, die an E-Typ auftreten können, und den kausalen Zusammenhängen unter ihnen besteht,

— alle Abhilfen an E-Typ, die Störungen an E-Typ beseitigen,

— alle Untersuchungen, die E-Typ gelten,

— für jede Untersuchung deren Soll-Resultat und deren Nicht-Soll-Resultate.

"Eine Störung wird abgespeichert" bedeutet, daß eine eindeutige Kennung für die Störung im Speicher eingetragen wird.

Das Wissens-Modul für einen Einheits-Typ enthält ein Störungsgraph-Modul für den Einheits-Typ. Der Gesamt-Störungsgraph für die technische Einheit wird durch automatisches Zusammenfügen von Kopien dieser Störungsgraph-Module erzeugt. Damit dies möglich ist, sind im Störungsgraph-Modul für den Einheits-Typ einige Störungen als logische Außen-Schnittstellen gekennzeichnet. Die Störungen, die logische Außen-Schnittstellen darstellen, werden nach ihrer Wirkrichtung für den Einheits-Typ unterschieden. Insgesamt gibt es daher folgende drei Arten von Relationen zwischen einer Störung St und einem Einheits-Typ Ein:

— St wirkt unmittelbar von Ein nach außen (und ist damit logische Außen-Schnittstelle)

— St wird unmittelbar von außen an Ein bewirkt (und ist damit logische Außen-Schnittstelle)

— St beeinträchtigt Ein intern (und ist damit keine logische Außen-Schnittstelle)

Fig. 4 illustriert diese drei Relationsarten.

Das Störungsgraph-Modul für einen Komponenten-Typ enthält nur Störungen an dem Komponenten-Typ selbst, keine an anderen Einheits-Typen. Das Störungsgraph-Modul für einen System-Typ zeigt, welche Störungen eine Störung an einer Untereinheit des System-Typs zur Folge hat. Aber er darf nicht eine Version der Untereinheit explizit benennen. Nur durch diese Einschränkung lassen sich die gerade dargelegten Anforderungen erfüllen.

Dies wird ermöglicht, indem der Begriff "Rolle im System-Typ" eingeführt wird. Jede Untereinheit des System-Typs erfüllt eine bestimmte Rolle für das Funktionieren des Systems. Genauso wie Schauspieler die Rollen in einem Theaterstück besetzen, so wird davon gesprochen, daß die Untereinheiten eines Systems die Rollen im System besetzen.

Im Wissens-Modul ist die Beschreibung, auf welche Art eine Untereinheit gestört sein kann, an die Rolle geheftet, die die Untereinheit besetzt. Eine Störung St kann je nach ihrer Wirkrichtung auf zwei Arten mit einer Rolle Ro in einem System-Typen S-Typ in Verbindung stehen:

— St wirkt unmittelbar von Ro nach außen (und ist damit logische Außen-Schnittstelle)

— St wird unmittelbar von außen an Ro bewirkt (und ist damit logische Außen-Schnittstelle)

Fig. 5 illustriert diese Zusammenhänge.

Der Zusammenhang zwischen Störungen an verschiedenen Rollen in S-Typ wird im Wissens-Modul für S-Typ beschreiben, der zwischen verschiedenen Störungen an einer Rolle in S-Typ hingegen nicht im Wissens-Modul für S-Typ, sondern im Wissens-Modul für die

Besetzung von Ro in S-Typ.

Das Konzept der "Rollen in einem System-Typ" ist ein Schlüssel, die Variantenvielfalt eines modularen Systems zu handhaben: Typischerweise unterscheiden sich viele Varianten des System-Typs nur in unterschiedlichen Besetzungen, nicht aber im Zusammenspiel der Rollen. Da das Störungsgraph-Modul nur Bezug auf Rollen, nicht aber auf Untereinheiten nimmt, gilt es für jede Version des System-Typs, die diese Rolle besitzt.

Störungen an einem System-Typen S-Typ können mit anderen Störungen an S-Typ oder mit Störungen an Rollen in S-Typ in Verbindung stehen. Es gibt folgende Möglichkeiten:

- Folge einer Störung, die unmittelbar von außen an S-Typ bewirkt wird, ist entweder eine Störung, die S-Typ intern beeinträchtigt, oder eine, die unmittelbar von außen an einer Rolle in S-Typ bewirkt wird, oder eine, die unmittelbar von S-Typ nach außen wirkt.
- Folge einer Störung, die S-Typ intern beeinträchtigt ist entweder eine andere Störung, die S-Typ intern beeinträchtigt, oder eine, die unmittelbar von außen an einer Rolle in S-Typ bewirkt wird, oder eine, die unmittelbar von S-Typ nach außen wirkt.
- Welche Folge eine Störung hat, die unmittelbar von S-Typ nach außen wirkt, ist nicht im Störungsgraph-Modul von S-Typ gespeichert, sondern in einem Störungsgraph-Modul eines System-Typs, in dem ein System vom Typ S-Typ eine Rolle besetzt.
- Folge einer Störung, die unmittelbar von einer Rolle in S-Typ nach außen wirkt, ist entweder eine Störung, die S-Typ intern beeinträchtigt, oder eine, die unmittelbar von außen an einer anderen Rolle in S-Typ bewirkt wird, oder eine, die unmittelbar von S-Typ nach außen wirkt.
- Welche Folge eine Störung hat, die unmittelbar von außen an einer Rolle in S-Typ bewirkt wird, ist nicht im Störungsgraph-Modul von S-Typ gespeichert, sondern in einem Störungsgraph-Modul eines Einheits-Typs, dem die Besetzung der Rolle angehört.

Damit der Gesamt-Störungsgraph für das technische System erstellt werden kann, muß sichergestellt werden, daß die logischen Außen-Schnittstellen des Störungsgraph-Moduls für eine Rolle zu den logischen Außen-Schnittstellen des Störungsgraph-Moduls für die Besetzung der Rolle passen. Daher ist eine Definition zu finden, wann eine Störung an einer Rolle in einem System-Typ und eine Störung an der Besetzung der Rolle einander entsprechen. Die Definition muß sicherstellen, daß es zu einer Störung an einer Rolle höchstens eine entsprechende Störung an der Besetzung der Rolle gibt. Daß es gar keine Entsprechung an einer Besetzung gibt, ist zulässig und bedeutet, daß die durch die Störung an der Rolle beschriebene Funktionsstörung an der Besetzung nicht auftreten kann.

Das Wissens-Modul für einen Einheits-Typ Ein enthält alle logischen Zusammenhänge zwischen Resultaten von Untersuchungen an Ein und Störungen. Jede Störung, für die im Wissens-Modul für Ein abgespeichert ist, daß sie ein Nicht-Soll-Resultat einer Untersuchung an Ein erklärt, ist selbst Störung an Ein und damit im Wissens-Modul für Ein abgespeichert. Jede Störung, für die im Wissens-Modul für Ein abgespeichert ist, daß sie mit einem Resultat einer Untersuchung an Ein un-

vereinbar ist, ist selbst Störung an Ein.

Die Komponente Wb-Ersteller in der Einrichtung nach der Erfindung erzeugt automatisch eine variantenspezifische Wissensbasis. Sie hat Lesezugriff auf den zweiten Speicher Konf, in dem die aktuelle Konfiguration der Variante des technischen Systems, für das eine Wissensbasis erzeugt werden soll, beschrieben ist. Welche Informationen im Speicher Konf abgelegt sind, wird im nächsten Absatz beschrieben.

Der Speicher Konf enthält für jede Einheit eine bezüglich das technischen Systems eindeutige Kennung. Für jede Kennung ist abgespeichert, welchem Einheits-Typen die Einheit angehört. Falls also von einem Einheits-Typ E-Typ n Exemplare im technischen System auftreten, so enthält Konf n Kennungen für diese Exemplare, die jeweils einen Verweis auf E-Typ tragen. Weiterhin ist für ein System SYS in Konf abgelegt, durch welche Einheit jede Rolle besetzt ist; SYS kann das technische System als ganzes oder ein Teilsystem sein. Für jede Rolle Ro in SYS ist also in Konf der Zusammenhang zwischen SYS, Ro und der Einheit Ein, die in SYS Ro besetzt, abgespeichert — beispielsweise als ein Tripel (SYS, Ro, Ein).

Das Vorgehen, nach denen die Komponente Wb-Ersteller die Wissensbasis für eine Variante TS des technischen Systems erzeugt, wird im folgenden und in Fig. 6, 6a, 6b dargestellt. Die Komponente Wb-Ersteller hat Lesezugriff auf den ersten Speicher WM für die Wissens-Module, der alle benötigten Wissens-Module enthält, sowie den zweiten Speicher Konf für die aktuelle Konfiguration der Variante des technischen Systems. Wb-Ersteller hat Schreibzugriff auf den dritten Speicher Wb und Lese- und Schreibzugriff auf zwei Arbeitsspeicher AS und AS-Stg.

Nach Lesezugriff auf den ersten Speicher WM erzeugt Wb-Ersteller eine Kopie von dem Störungsgraph-Modul für das technische System als ganzes. Wb-Ersteller entnimmt dem zweiten Speicher Konf die Information, welche Einheiten im technischen System vorhanden sind. Für jede vorhandene Einheit Ein stellt Wb-Ersteller fest, welchem Typ die Einheit angehört, und erstellt eine Kopie des Störungsgraph-Moduls für den Einheits-Typ E-Typ von Ein. Die Kopie heißt abkürzend Störungsgraph-Modul für Ein. Präziser formuliert bedeutet dieses "Kopieren":

- Für jede im Wissens-Modul abgespeicherte Störung an E-Typ erzeugt Wb-Ersteller eine Kopie und versieht die Kopie mit einem Verweis auf Ein.
- Für jeden kausalen Zusammenhang zwischen zwei Störungen, der im Wissens-Modul abgespeichert ist, wird ein Zusammenhang dergleichen Art zwischen den jeweiligen Kopien erzeugt. Falls also im Wissens-Modul für Ein abgespeichert ist, daß St-A Folge von St-B ist, wobei St-A und St-B Störungen an E-Typ sind, so wird im Störungsgraph-Modul für Ein festgehalten, daß die Kopie von St-A mit Verweis auf Ein Folge der Kopie von St-B mit Verweis auf Ein ist.

Falls es von einem Einheits-Typ n Exemplare in der Variante des technischen Systems gibt, so werden also n Kopien des Störungsgraph-Moduls für den Einheits-Typ erstellt.

Alle Kopien von Störungsgraph-Modulen werden im Arbeitsspeicher AS abgespeichert.

Ist diese Arbeit vollbracht, so erstellt die Komponente Wb-Ersteller den Gesamt-Störungsgraph für die Va-

riante:

(A) Wb-Ersteller entnimmt dem zweiten Speicher Konf die Information, welche Teilsysteme im technischen System vorhanden sind.

(B) Für jedes System SYS, wobei SYS das technische System TS selbst oder ein Teilsystem im technischen System TS ist,

— ermittelt Wb-Ersteller durch Lesezugriff auf den zweiten Speicher Konf, welche Rollen es in SYS gibt, und ermittelt für jede Rolle, durch welche Einheit die Rolle in SYS besetzt ist

— fügt Wb-Ersteller das Störungsgraph-Modul für Ein in das Störungsgraph-Modul für SYS an den Platz der Rolle Ro ein.

Eine derartige Einfügung wird durch Fig. 7 gezeigt und Fig. 8 veranschaulicht, sie besteht aus folgenden Schritten:

(1) Für jede Störung St im Störungsgraph-Modul für SYS, die von Ro unmittelbar nach außen wirkt, wird im Störungsgraph-Modul für Ein nach einer Störung St-1 gesucht, die von Ein unmittelbar nach außen wirkt und die eine Entsprechung von St ist. Gemäß der Definition von "entsprechend" gibt es maximal eine Entsprechung.

— Falls die Komponente Wb-Ersteller eine Entsprechung gefunden hat, wird im Störungsgraph-Modul für SYS St durch St-1 ersetzt. St-1 steht mindestens mit allen Störungen in kausalem Zusammenhang, mit denen St in kausalem Zusammenhang stand.

— Falls Wb-Ersteller keine Entsprechung gefunden hat, so wird St in den Arbeitsspeicher AS-Stg eingetragen.

(2) Für jede Störung St im Störungsgraph-Modul für SYS, die unmittelbar von außen an Ro bewirkt wird, wird im Störungsgraph-Modul für Ein nach einer Störung St-1 gesucht, die unmittelbar von außen an Ein bewirkt wird und die eine Entsprechung von St ist. Gemäß der Definition von "entsprechend" gibt es maximal eine Entsprechung.

— Falls Wb-Ersteller eine Entsprechung gefunden hat, wird im Störungsgraph-Modul für SYS St durch St-1 ersetzt. St-1 steht mindestens mit allen Störungen in kausalem Zusammenhang, mit denen St in kausalem Zusammenhang stand.

— Falls Wb-Ersteller keine Entsprechung gefunden hat, so wird St in den Arbeitsspeicher AS-Stg eingetragen.

Nach Abschluß aller Einfügungsschritte sind die Störungsgraph-Module, die zuvor in AS abgespeichert waren, zu einem einzigen Störungsgraph verknüpft. Wb-Ersteller entfernt nunmehr aus diesem Störungsgraph jede Störung, die auch in AS-Stg abgespeichert ist. Eine Störung ist dann in AS-Stg abgespeichert, wenn sie einer Rolle zugeordnet ist und Wb-Ersteller keine entsprechende Störung an der Besetzung der Rolle gefunden hat. Wb-Ersteller liest alle Störungen aus AS-Stg ein und streicht jede eingelesene Störung selbst sowie iterativ alle Störungen, die direkte oder indirekte Folge von St, aber keiner anderen Störung sind, sowie alle Störungen, die direkter oder indirekter Verursacher von St, aber keiner anderen Störung sind, aus dem Störungs-

Graph.

Nach dieser Arbeit ist der Störungsgraph für die Variante fertig erstellt; Wb-Ersteller speichert ihn im dritten Speicher Wb ab.

Die Komponente Wb-Ersteller ermittelt erneut durch Lesezugriff auf den zweiten Speicher Konf, welche Einheiten im technischen System, für das eine Wissensbasis erstellt werden soll, auftreten. Für jede Einheit Ein, wobei Ein das technische System als ganzes oder eine Einheit im technischen System ist, ermittelt Wb-Ersteller, zu welchem Typ E-Typ Ein gehört, und kopiert das Wissens-Modul für E-Typ außer dem bereits zuvor kopierten Störungsgraph-Modul. Präziser formuliert bedeutet dieses ebenfalls "Kopieren":

— Für jede im Wissens-Modul abgespeicherte Abhilfe, Untersuchung und Resultat erzeugt Wb-Ersteller eine Kopie und versieht die Kopie mit einem Verweis auf Ein.

— Für jeden Zusammenhang zwischen einer Einfach-Ursache und einer Abhilfe, einer Untersuchung und einem Resultat und zwischen einer Störung und einem Resultat, der im Wissens-Modul für E-Typ abgespeichert ist, wird ein Zusammenhang der gleichen Art zwischen den jeweiligen Kopien erzeugt.

Alle dergestalt erzeugten Kopien der Wissens-Module speichert Wb-Ersteller im dritten Speicher Wb ab. Damit ist die Wissensbasis fertig konfiguriert.

Die erfindungsgemäße Einrichtung erstellt somit effizient Wissensbasen für jede Variante einer Klasse technischer Systeme. Es muß einmal ein Wissens-Modul für jeden Einheits-Typ erstellt werden. Für jede Variante, für die eine Wissensbasis erstellt werden soll, muß die aktuelle Konfiguration erfindungsgemäß beschrieben werden. Ein Wissensbasis-Konfigurations-System, das Lesezugriff auf alle Wissens-Module und alle aktuellen Konfigurationen hat, erstellt dann vollautomatisch alle benötigten Wissensbasen.

Falls in einer Variante eine Einheit durch eine andersartige Einheit ersetzt wird, so wird die neue Konfiguration der Variante erfindungsgemäß beschrieben. Dann erzeugt das Wissensbasis-Konfigurations-System automatisch eine komplette neue Wissensbasis für die Variante.

Die erfindungsgemäße Einrichtung ist geeignet, automatisch aus Störungsgraph-Modulen und der aktuellen Konfiguration des technischen System TS ein Fehlermodell, nämlich einen Gesamt-Störungsgraph für TS zu erzeugen. Dazu braucht ein Wissens-Modul nur den Störungsgraph-Modul für den jeweiligen Einheits-Typ zu enthalten. Die Vorgehensweise entspricht derjenigen der Erstellung einer Wissensbasis für ein Expertensystem. Es hat sein Ziel hingegen schon erreicht und bricht ab, wenn der Gesamt-Störungsgraph für TS vollständig erzeugt ist.

Die erfindungsgemäße Einrichtung liefert einen Störungsgraph und alle weiteren Informationen, damit ein Expertensystem das Fehlersuchbaum-Verfahren anwenden kann.

Welche Nachteile es hat, wenn das Expertensystem mit dem Ziel, ein Blatt zu erreichen, im Störungsgraphen "navigiert", wurde in der Beschreibung des Standes der Technik dargelegt. Um diesen Nachteil zu vermeiden, diagnostiziert das Expertensystem das technische System in der in Fig. 9 illustrierten Weise, wobei das nicht nur eine Einfach-, sondern auch eine Mehrfach-Ursache

durch eine einzige Diagnose zu finden vermag.

Während der Diagnose hat das Expertensystem Lese- und Schreibzugriff auf einen Arbeitsspeicher AS, in dem alle noch möglichen Ursachen angespeichert sind. "Noch möglich" ist eine Ursache, wenn sie jedes im bisherigen Verlauf der Diagnose gewonnene Nicht-Soll-Resultat erklärt und mit keinem unvereinbar ist. Eine Mehrfach-Ursache erklärt ein Resultat, wenn mindestens eine der Einfach-Ursachen, aus denen die Mehrfach-Ursache besteht, das Resultat erklärt. Sie ist mit einem Resultat unvereinbar, wenn mindestens eine ihrer Einfach-Ursachen mit dem Resultat unvereinbar ist. Eine Mehrfach-Ursache wird dann in Betracht gezogen, wenn sie noch möglich ist, jedoch keine ihrer Einzel-Ursachen für sich noch möglich ist.

Das Expertensystem geht bei der Diagnose folgendermaßen vor:

— Zu Beginn der Diagnose sind noch alle Ursachen möglich. In den Arbeitsspeicher AS trägt das Expertensystem daher jedes Blatt des Störungsgraphen ein.

— Das Expertensystem wiederholt die folgende Abfolge von Schritten so lange, bis im Arbeitsspeicher AS nur noch eine einzige Ursache enthalten ist:

- (1) Das Expertensystem bestimmt, welche Untersuchung als nächstes durchgeführt wird.
- (2) Das Expertensystem selber oder eine weitere Operationseinheit führt diese Untersuchung durch und ermittelt, welche der möglichen Resultate die Untersuchung aktuell hat.
- (3) Das Expertensystem wertet das in Schritt (2) gewonnene Resultat aus und ändert den Inhalt von AS ab. Wie dies geschieht, wird im nächsten Absatz beschrieben.
- (4) Das Expertensystem prüft, wie viele Ursachen sich jetzt in AS befinden.

— Sobald in AS nur noch eine einzige Ursache enthalten ist, ist diese Ursache als tatsächlich vorliegend identifiziert. Für jede ihrer Einfach-Ursachen wird die zugeordnete Abhilfe entweder automatisch vom Expertensystem ausgeführt oder einem Menschen zur Ausführung vorgeschlagen.

Fig. 10 und Fig. 11 illustrieren die Arbeitsschritte, durch die ein Resultat Resu ausgewertet und das Auswertungs-Ergebnis in den Arbeitsspeicher AS geschrieben wird. Während der Arbeitsschritte hat das Expertensystem Lese- und Schreibzugriff auf weitere Arbeitsspeicher, die mit AS-erkl-0, AS-erkl-1 und AS-erkl-2 sowie AS-unver und AS-unver-1 bezeichnet werden.

Das Resultat Resu wird folgendermaßen ausgewertet (vgl. Fig. 10):

- Das Expertensystem ermittelt, welche Ursachen mit Resu unvereinbar sind.
- das Expertensystem streicht aus AS alle Ursachen, die mit Resu unvereinbar sind.
- Das Expertensystem ermittelt, ob Resu das Soll-Resultat oder ein Nicht-Soll-Resultat derjenigen Untersuchung ist, die Resu lieferte
- Falls es ein Nicht-Soll-Resultat ist, so macht das Expertensystem folgendes (vgl. Fig. 11):
  - Es ermittelt, welche Ursachen Resu erklären.
  - Es streicht aus AS alle Ursachen, die Resu nicht erklären.

- Es ergänzt AS um jede mögliche Mehrfach-Ursache, die aus einer Ursache aus AS,
  - die Resu nicht erklärt,
  - aber auch nicht mit Resu unvereinbar ist und einer Ursache,
  - die Resu erklärt
  - und die weder in AS noch in AS enthalten ist,
  - d. h. die zwar nicht alle bisher gewonnenen Resultate erklärt, aber mit keinem unvereinbar ist
- besteht.

Die in Fig. 10 und Fig. 11 gezeigten Arbeitsspeicher haben folgenden Inhalt:

AS alle Ursachen, die jedes bislang gewonnene Nicht-Soll-Resultat erklären und mit keinem unvereinbar sind  
 AS-erkl-0 alle Ursachen, die Resu erklären  
 AS-erkl-1 alle Ursachen, die Resu nicht erklären aber auch nicht mit Resu unvereinbar sind  
 AS-erkl-2 alle Ursachen, die zwar nicht alle bisher gewonnenen Resultate erklären, aber mit keinem unvereinbar sind  
 AS-unver alle Ursachen, die mit einem der bislang gewonnenen Resultate unvereinbar sind  
 AS-unver-1 alle Ursachen, die mit Resu unvereinbar sind

Damit das Expertensystem ein Resultat Resu auswerten kann, muß die Information verfügbar sein, welche Ursachen es erklären und welche Zusammenhänge mit ihm unvereinbar sind. Diese Informationen gewinnt das Expertensystem, indem es die in der Wissensbasis abgespeicherten Zusammenhänge zwischen Resu und Störungen kombiniert mit dem Gesamt-Störungsgraphen für das technische System. Es wendet diese Grundsätze an:

- (1) Falls eine Störung St ein Resultat Resu erklärt, so erklärt auch jeder Verursacher von St Resu.
- (2) Falls eine Störung St mit einem Resultat Resu unvereinbar ist, so ist ein Verursacher St-1 von St

Der Grundsatz (1) wird folgendermaßen genutzt, um zu ermitteln, welche Ursachen Resu erklären:

- (A) Ermittelt wird, welche Störungen in der Wissensbasis als Erklärungen von Resu abgespeichert sind.
- (B) Für jede Erklärung St-E, die selbst nicht Ursache ist, werden die Ursachen ermittelt, die St-E verursachen: Es sind alle Blätter desjenigen Astes des Störungsgraphen, dessen Wurzel St-E ist.
- (C) Jede Ursache, die entweder direkt in der Wissensbasis als Erklärung von Resu abgespeichert ist oder die in Schritt (B) mindestens einmal gefunden wurde, erklärt Resu.

Der Grundsatz (2) wird folgendermaßen genutzt, um zu ermitteln, welche Ursachen mit dem Resultat Resu unvereinbar sind:

- (A) Ermittelt wird, für welche Störungen in der Wissensbasis abgespeichert ist, daß sie mit Resu unvereinbar sind.
- (B) Für jede mit Resu unvereinbare Störung St-E, die selbst nicht Ursache ist, werden die Ursachen



ermittelt, die St-E verursachen: Es sind alle Blätter desjenigen Astes des Störungsgraphen, dessen Wurzel St-E ist.

(C) Eine Ursache ist dann mit Resu unvereinbar, wenn jede Folge der Ursache entweder selbst mit Resu unvereinbar ist oder Verursacher einer mit Resu unvereinbaren Störung ist.

(D) Außerdem ist jede Ursache mit Resu unvereinbar, die direkt in der Wissensbasis als mit Resu unvereinbar abgespeichert ist.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist die, daß entsprechend Fig. 12 in einer ersten Phase aus der automatisch erzeugten Wissensbasis für das zu diagnostizierende technische System TS gerade die Informationen "extrahiert" werden, die für die erfindungsgemäße Diagnosestrategie benötigt werden, nämlich:

- welche Einfach-Ursachen an TS und seinen Modulen auftreten können,
- für jede dieser Ursachen, durch welche Abhilfe die Ursache beseitigt wird,
- welche Untersuchungen an TS und seinen Modulen im Verlaufe einer Diagnose durchgeführt werden können,
- für jede dieser Untersuchungen, welches Soll-Resultat und welche Nicht-Soll-Resultate die Untersuchung hat,
- für jedes Resultat, mit welchen Ursachen es unvereinbar ist,
- für jedes Nicht-Soll-Resultat zusätzlich, durch welche Ursachen es erklärt wird.

In einer zweiten Phase arbeitet das Expertensystem nach der erfindungsgemäßen Diagnosestrategie und hat dabei Lesezugriff auf die in der ersten Phase extrahierten Informationen. Die "eigentliche" Wissensbasis, die die Komponente Wb-Ersteller erzeugt und im dritten Speicher Wb abgelegt, benötigt das Expertensystem nicht. Dieses Vorgehen ist von Vorteil, denn die Extraktion braucht nur einmal zu erfolgen, und das Ergebnis der Extraktion kann für jede Diagnose von TS wiederverwendet werden, solange an TS keine diagnoserelevante Änderung vorgenommen wird. Außerdem benötigt das Extraktions-Ergebnis weniger Speicherplatz als die Original-Wissensbasis.

Wie soll das Expertensystem während einer Diagnose bestimmen, welche Untersuchung als nächstes durchzuführen ist? Eine Möglichkeit ist es, den Benutzer zu fragen. Dies würde unerfahrene Benutzer aber möglicherweise überfordern. Vorteilhaft ist es, daß das Expertensystem dann, wenn der Benutzer keine Auswahl treffen will oder kann, selbst automatisch die jeweils nächste Untersuchung bestimmt. Eine geeignete Auswahlstrategie verkürzt die Dauer der Diagnose entscheidend.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist die: Das Expertensystem wählt die Untersuchung aus, die das größte Verhältnis zwischen dem Nutzen und den Kosten hat. Hierzu berechnet das Expertensystem für jede noch in Betracht kommende Untersuchung Unt je eine numerische Bewertung für den Nutzen  $N(\text{Unt})$  bei den noch möglichen Ursachen und die Kosten  $K(\text{Unt})$  und setzt dann  $N(\text{Unt})$  und  $K(\text{Unt})$  ins Verhältnis. Ausgewählt wird die Untersuchung mit dem größten Verhältnis.

Der Nutzen einer Untersuchung Unt wird als zu erwartender Informationsgewinn gemäß eines Verfah-

rens, das aus der Informationstheorie bekannt ist, bewertet. Sei UM die Menge der vor Durchführung von Unt noch möglichen Ursachen. Seien  $\text{Resu-1}, \dots, \text{Resu-n}$  die möglichen Resultate von Unt, und sei für  $i = 1, \dots, n$   $\text{UM-i}$  die Menge der Ursachen, die dann noch möglich sind, wenn das Resultat  $\text{Resu-i}$  gewonnen wird. Dann ist

$$N(\text{Unt}) = q - 1 \cdot IG - 1 + \dots + q - n \cdot IG - n,$$

wobei für  $i = 1, \dots, n$   $q - i$  die bedingte Wahrscheinlichkeit ist, daß Unt das Resultat  $\text{Resu-i}$  hat, falls alle Ursachen in UM und keine anderen Ursachen noch möglich sind, und  $IG - i = -\log[P(\text{UM-i})/P(\text{UM})]$  der Informationsgewinn durch das Resultat  $\text{Resu-i}$  ist.

Um  $N(\text{Unt})$  für eine Untersuchung Unt zu bestimmen, wird eine Charakterisierung der Auftretens-Häufigkeit jeder Einzel-Ursache benötigt, um daraus die Auftretens-Wahrscheinlichkeit jeder noch möglichen Ursache zu berechnen. Um  $K(\text{Unt})$  zu bestimmen, wird eine Charakterisierung der Kosten benötigt, die die Durchführung von Unt verursacht.

Um eine systematische Gliederung der Informationen über Einheits-Typen zu erreichen und die Zahl der Eintragungen zu verkleinern, werden ähnliche Einheits-Typen in Oberklassen zusammengefaßt. Bei den Oberklassen werden alle gemeinsamen Informationen notiert, während bei dem Einheits-Typ selbst die individuellen Informationen einschließlich der Zugehörigkeit zu Oberklassen eingetragen werden. Zum Wissens-Modul für einen Einheits-Typ Ein gehört die Information, welche Oberklassen Ein besitzt. Diese Vorgehensweise ist bekannt als taxonomische Organisation der Diagnose-Informationen, denn unter den Einheits-Typen wird eine Taxonomie (Verwandtschafts-Hierarchie) aufgestellt. Diese Taxonomie bildet einen gerichteten Graphen mit Wurzel, dessen Knoten für Einheits-Typen und dessen Kanten für die Relation "hat die Oberklassen" stehen. Die Wurzel steht für "Einheits-Typ", die Blätter für tatsächlich verwendete Einheits-Typen.

Das Grundverfahren besteht darin, eine benötigte Information rekursiv aus den Informationen über E-Typ sowie über den Oberklassen von E-Typ "zusammenzusammeln".

Als Beispiel sei die Information gesucht, welche Rollen in E-Typ erfüllt sein müssen, damit E-Typ seine Soll-Funktion erfüllen kann. Dazu wird zunächst im Wissens-Modul für E-Typ selber ermittelt, welche Rollen in E-Typ dort abgespeichert sind, und diese Rollen werden zwischengespeichert. Danach festgestellt, welche Oberklassen E-Typ besitzt. Für jede Oberklasse E-Typ-ob wird im Wissens-Modul für E-Typ-ob ermittelt, welche Rollen in E-Typ-ob dort abgespeichert sind, und der Zwischenspeicher für Rollen wird ergänzt. Dieses Vorgehen wird für die Oberklassen von E-Typ-ob fortgesetzt, es ist beendet, wenn die Wurzel des Taxonomie-Baumes erreicht ist.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung löst das Problem, wie zum Diagnosezeitpunkt gewährleistet ist, daß das Expertensystem zum Diagnosezeitpunkt Zugriff auf den zweiten Speicher Konf für die aktuelle Konfiguration des zu diagnostizierenden technischen Systems hat und daß dieser Speicher mit der tatsächlichen Konfiguration übereinstimmt. Dieses Problem tritt z. B. dann auf, wenn das Expertensystem in einer KFz-Werkstatt arbeitet.

Die vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, daß der zweite Speicher Konf in dem zu diagnostizierenden technischen System selbst enthalten ist. Bei

Auslieferung eines Exemplars eines technischen Systems wird der zweite Speicher Konf mit den erfindungsgemäß strukturierten Informationen über dessen Konfiguration gefüllt. Immer dann, wenn ein Modul des Exemplars durch ein andersartiges ersetzt wird, wird der Inhalt des zweiten Speichers Konf aktualisiert.

Ein weitere Anforderung wird durch eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung behandelt: Gewährleistet sein muß, daß das Expertensystem zum Diagnosezeitpunkt Lesezugriff auf jedes Wissens-Modul für einen Einheits-Typ hat, der im zu diagnostizierenden technischen System verwendet wird. Beispielsweise im Falle des Expertensystems in der KFz-Werkstatt kann dies dann, wenn alle Wissens-Module in der KFz-Werkstatt selber abgespeichert sind, logistische Probleme (bei der "Auslieferung" der Wissens-Module) und Speicherplatzprobleme aufwerfen, insbesondere dann, wenn technische Änderungen an Einheits-Typen häufig erzwingen, daß neue Versionen von Wissens-Modulen bereitgestellt werden. Falls man hingegen jedes Wissens-Module nur einmal zentral abspeichert, so müssen zum Diagnosezeitpunkt viele Daten schnell dem Expertensystem verfügbar gemacht werden.

Die vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, daß im technischen System selbst alle benötigten Wissens-Module abgespeichert sind. Ein Vorgehen, diese Idee zu realisieren, ist die, daß in jeder Einheit Ein das Wissens-Modul für den Typ von Ein abgespeichert ist. Wird eine Einheit durch eine andere ersetzt, so muß man nur sicherstellen, daß auch die neue Einheit "Ihr" Wissens-Modul enthält, um zu gewährleisten, daß dem Expertensystem auch nach dem Austausch alle Wissens-Module zur Verfügung stehen. Speicherplatz wird gespart, wenn speicherplatzaufwendige Informationen, wie z. B. Text im technischen System, codiert abgelegt werden. Man muß dann sicherstellen, daß das Expertensystem über die notwendigen Informationen verfügt, die Codierung zu entschlüsseln, z. B. indem das Expertensystem Lesezugriff auf eine Tabelle hat, durch die Textelemente und dazugehöriger Code verknüpft sind.

Beispielsweise bei der rechnerunterstützten Diagnose in der KFz-Werkstatt muß ein Expertensystem alle oder zumindest viele Varianten eines technischen Systems diagnostizieren können. Bedeutenden Zeitbedarf kann es erfordern und große logistische und Speicherplatzprobleme kann es z. B. im Falle des Expertensystems in der KFz-Werkstatt aufwerfen, wenn die Wissensbasis für jede zu diagnostizierende Variante vorab zentral erstellt und an alle Einsatzorte ausgeliefert wird; große Daten sind schnell zu übertragen, wenn jede Wissensbasis nur zentral gehalten wird und das Expertensystem sich im Diagnosefall Lesezugriff auf die zentral gespeicherten Wissensbasen verschaffen muß.

Daher ist es dann, wenn ein Expertensystem in der Lage sein muß, mehrere Varianten zu diagnostizieren, vorteilhaft, daß erst zum Diagnosezeitpunkt die Wissensbasis für die aktuell zu diagnostizierende Variante erzeugt wird. Um zeitraubende Datenübertragungen zu vermeiden, konfiguriert zweckmäßigerweise dasselbe Soft- und Hardwaresystem zunächst die Wissensbasis für die Variante und führt dann mit dieser Wissensbasis die Diagnose durch.

Die Einrichtung nach der Erfindung benötigt einen Speicher Konf, der folgende Informationen über die Variante TS des technischen Systems, für die eine Wissensbasis erstellt werden soll, enthält:

— welche Einheiten in TS vorhanden sind,

- von welchem Typ TS ist,
- für jede Einheit Ein in TS, von welchem Typ Ein ist, und
- für jedes System SYS, wobei SYS TS selber oder ein System in TS ist, und für jede Rolle in SYS die Kennzeichnung, welche Einheit in SYS diese Rolle besetzt.

Zwar ist es im Prinzip möglich, diese Informationen "von Hand" zu erzeugen. Aber sie sind charakteristisch für die Variante TS und können nicht für andere Varianten wiederverwendet werden. Darüber hinaus lassen sich Ähnlichkeiten zwischen verschiedenen Teilsystemen gleichen Typ in der Variante nicht systematisch ausnutzen. Daher ist es vorteilhaft, wenn der Inhalt des zweiten Speichers Konf automatisch aus Informationen erzeugt wird, die den Einheits-Typen und nicht den Einheits-Exemplaren zugeordnet sind.

Im folgenden wird beschrieben, welche Konfigurations-Informationen jedem Einheits-Typen zusätzlich zu seinem Wissens-Modul zugeordnet sind und wie aus diesen Konfigurations-Informationen automatisch die erfindungsgemäße Beschreibung der aktuellen Konfiguration des technischen Systems TS, für das eine Wissensbasis erstellt werden soll, generiert wird.

Sei S-Typ ein System-Typ, der in TS auftritt; S-Typ ist entweder der Typ, dem das technische System selber angehört, oder ein Typ eines in TS verwendeten Teilsystems. Folgende Informationen sind S-Typ zugeordnet:

(1) Für jede Rolle Ro in S-Typ ist festgelegt, welchem Einheits-Typ Ein die Besetzung von Ro angehört. Zwei Arten von Festlegungen werden unterschieden:

- Entweder ist Ro in S-Typ eine einzige unbedingte Festlegung zugeordnet, nämlich die, daß in jedem Exemplar vom Typ S-Typ die Rolle Ro durch eine Einheit vom Typ Ein besetzt ist,
- oder Ro in S-Typ sind mehrere bedingte Festlegungen zugeordnet. Eine bedingte Festlegung nennt einen Einheits-Typ Ein und als Bedingung eine Rolle Ro-1 in einem System-Typ S1-Typ. Die Festlegung bedeutet, daß in einem Exemplar Sys-Ex vom Typ S-Typ die Rolle Ro dann durch eine Einheit vom Typ Ein besetzt wird, wenn Sys-Ex die Rolle Ro-1 in einem System vom Typ S1-Typ besetzt.

(2) Für eine Rolle Ro in S-Typ kann festgelegt sein, welche anderen Rollen in einem Exemplar vom Typ S-Typ eine Besetzung von Ro ebenfalls besetzt. Der Elektro-Motor einer Straßenbahn ist ein Beispiel für eine Einheit, die sowohl die Rolle "Antrieb" als auch die Rolle "Induktionsbremse" im technischen System "Straßenbahn" besetzt. Auch hier werden zwei Arten von Festlegungen unterschieden:

- Eine unbedingte Festlegung nennt ausschließlich eine andere Rolle Ro-1 in S-Typ. Diese Festlegung bedeutet, daß in jedem Exemplar vom Typ S-Typ diejenige Einheit, die die Rolle Ro besetzt, zugleich auch Ro-1 besetzt.
- Eine bedingte Festlegung nennt eine andere Rolle Ro-1 in S-Typ und als Bedingung eine Rolle Ro-2 in einem anderen System-Typen S2-Typ. Die Festlegung bedeutet, daß in einem Exemplar Sys-Ex des Typs S-Typ die Beset-

zung von Ro dann zugleich Ro-1 besetzt, wenn Sys-Ex die Rolle Ro-2 in einem System vom Typ S2-Typ besetzt.

(3) Für eine Rolle Ro im Typ S-Typ kann festgelegt sein, weiche Rollen in anderen Systemen eine Besetzung von Ro in einem Exemplar vom Typ S-Typ ebenfalls besetzt. Zwei Arten von Festlegungen werden unterschieden:

- Eine unbedingte Festlegung nennt ausschließlich eine Rolle Ro-1 in einem anderen System-Typen S1-Typ. Diese Festlegung bedeutet, daß diejenige Einheit Ein, die in jedem Exemplar vom Typ S-Typ die Rolle Ro besetzt, zugleich auch in jedem Exemplar vom Typ S1-Typ die Rolle Ro-1 besetzt. Die Festlegung darf nur dann getroffen werden, wenn es nur eine einzige derartige Einheit Ein gibt.
  - Eine bedingte Festlegung nennt eine Rolle Ro-1 in einem anderen System-Typen S1-Typ und
    - entweder nur eine Bedingung für S-Typ, bestehend aus einer Rolle Ro-2 in einem von S-Typ verschiedenen System-Typen S2-Typ (Bedingung vom Typ I)
    - oder nur eine Bedingung für S1-Typ, bestehend aus einer Rolle Ro-2 in einem von S1-Typ verschiedenen System-Typen S2-Typ (Bedingung vom Typ II)
    - oder je eine Bedingung für S-Typ und eine für S1-Typ, wobei die erste Bedingung aus einer Rolle Ro-2 in einem von S-Typ verschiedenen System-Typen S2-Typ und die zweite Bedingung aus einer Rolle Ro-3 in einem von S1-Typ verschiedenen System-Typen S3-Typ besteht (Bedingung vom Typ III).
- Diese bedingte Festlegung bedeutet, daß diejenige Einheit Ein, die in einem Exemplar Sys-Ex vom Typ S-Typ die Rolle Ro besetzt, immer dann zusätzlich in einem Exemplar Sys-1-Ex vom Typ S1-Typ die Rolle Ro-1 besetzt, wenn
- Sys-Ex in einem Exemplar vom Typ S2-Typ die Rolle Ro-2 besetzt
  - bzw. Sys-1-Ex in einem Exemplar vom Typ S2-Typ die Rolle Ro-2 besetzt
  - bzw. sowohl Sys-Ex in einem Exemplar vom Typ S2-Typ die Rolle Ro-2 besetzt als auch Sys-1-Ex in einem Exemplar vom Typ S2-Typ die Rolle Ro-2 besetzt.

Die Konfigurations-Informationen sind zwar — genau wie die erfindungsgemäß strukturierten Wissens-Module — Einheits-Typen zugeordnet. Jedoch hängen die Konfigurations-Informationen über einen System-Typ S-Typ — im Gegensatz zu denen im Wissens-Modul für S-Typ — ab von der Verwendung eines Exemplars Sys-Ex vom Typ S-Typ und von der Version der Untereinheiten in Sys-Ex. Daher werden sie zweckmäßigerweise in einem eigenen fünften Speicher Konf-Info gehalten:

Die erfindungsgemäß aufgebaute Beschreibung der aktuellen Konfiguration eines technischen Systems TS wird durch eine weitere Komponente Konf-R der Einrichtung nach der Erfindung generiert und in dem zweiten Speicher Konf abgelegt. Konf-R hat Lesezugriff auf den erfindungsgemäß strukturierten ersten Speicher WM mit den Wissens-Modulen, auf den fünften Speicher Konf-Info, Schreibzugriff auf den zweiten Speicher Konf, der nach der Arbeit von Konf-R die aktuelle Kon-

figuration enthält, und Lese- und Schreibzugriff auf den Arbeitsspeicher AS.

Damit die Komponente Konf-R arbeiten kann, muß sie automatisch für jede Einheit Ein im technischen System eine eindeutige Kennung erzeugen. Diese Kennung hängt zweckmäßigerweise ab vom Typ, von dem Ein ist, und — außer wenn Ein das technische System selber ist — von der Kennung eines Systems Sys-Ex, in dem Ein eine Rolle besetzt, und von der Kennung dieser Rolle.

Das Vorgehen der Komponente Konf-R für ein technisches System TS erläutert Fig. 13:

Jeder Eintrag im Arbeitsspeicher AS ist ein Tupel, bestehend aus einer Kennung für das technische System TS oder einem Teilsystem SYS von TS sowie einer Kennung für eine Rolle in TS bzw. SYS. Für jedes durch ein Tupel in AS bezeichnete Paar ist die Besetzung noch zu ermitteln. Die Einträge im zweiten Speicher Konf werden von der Komponente Konf-R erzeugt, jeder Eintrag ist ein Tripel, bestehend aus einer Kennung für TS oder einem Teilsystem SYS von TS, einer Kennung für eine Rolle Ro in TS bzw. SYS und einer Kennung für die Einheit Ein, die Ro in TS bzw. SYS besetzt.

- Konf-R ermittelt, welchem Typ TS-Typ TS angehört, und speichert diese Information in Konf ab
- Konf-R ermittelt durch Lesezugriff auf WM, welche Rollen in TS-Typ existieren.
- Für jede derartige Rolle Ro trägt Konf-R in AS ein Tupel ein, bestehend aus der Kennung für TS und der für Ro.
- Konf-R durchläuft die folgende Schleife so oft, bis AS leer ist:
  - Konf-R ermittelt in AS jedes Tupel, das ein System SYS und eine Rolle Ro in SYS bezeichnet, für dessen Besetzung Ein die Kennung bereits erzeugt wurde. Daß die Kennung für Ein bereits erzeugt wurde, ist dann möglich, wenn Ein zugleich eine andere Rolle besetzt. Wie Konf-R diese Tupel ermittelt, schildert der nächste Absatz.
  - Für jedes derartige Tupel
    - schreibt Konf-R ein Tripel in Konf, das aus der Kennung von SYS, der von Ro und der von Ein besteht.
    - löscht Konf-R in AS das Tupel
  - Falls AS noch Tupel enthält, so vollführt Konf-R folgende Arbeitsschritte:
    - Konf-R wählt ein anderes Tupel aus AS aus. Sei SYS das durch das Tupel bezeichnete System und Ro die bezeichnete Rolle in SYS.
    - Konf-R stellt durch Lesezugriff auf Konf fest, von welchem Typ SYS ist
    - Konf-R stellt durch Lesezugriff auf Konf-Info fest, von welchem Typ E-Typ die Besetzung Ein von Ro in SYS ist.
    - Konf-R erzeugt eine Kennung für Ein, die von E-Typ, Ro und SYS abhängt.
    - Konf-R trägt in Konf ein Tripel ein, bestehend aus den Kennungen für SYS, Ro und Ein
    - Konf-R trägt in Konf ein, daß Ein vom Typ E-Typ ist, d. h. trägt in Konf einen Verweis von der Kennung für Ein auf die für E-Typ ein.
    - Konf-R löscht in AS das Tupel
    - Konf-R ermittelt durch Lesezugriff auf

WM, ob E-Typ ein System- oder ein Komponenten-Typ ist

- Falls E-Typ ein System-Typ ist,
  - ermittelt Konf-R alle Rollen in E-Typ

- und trägt für jede Rolle in E-Typ eine Kennung in AS ein, die aus einer Kennung für Ein und einer für die Rolle besteht.

- Falls der Arbeitsspeicher AS leer ist, so ist die aktuelle Konfiguration vollständig im zweiten Speicher Konf abgespeichert.

Durch die im folgenden beschriebenen Schritte (A) und (B) stellt die Komponente Konf-R fest, ob ein Tupel im Arbeitsspeicher AS ein System und eine Rolle bezeichnet, für dessen Besetzung schon eine Kennung erzeugt wurde: Sei Sys-Ex das System und Ro die Rolle im System, aus deren Kennungen das Tupel besteht.

(A) Konf-R ermittelt den Typen S-Typ von Sys-Ex und stellt durch Lesezugriff auf den fünften Speicher Konf-Info fest, welche Festlegungen der oben erwähnten Art (2) für die Rolle Ro in S-Typ in Konf-Info abgespeichert sind.

- Für jede Festlegung, die Ro in S-Typ mit einer anderen Rolle Ro-1 in S-Typ verknüpft, sucht Konf-R nach einem Tripel in Konf, das aus der Kennung für Sys-Ex, der für Ro-1 und der für eine Einheit Ein besteht. Ist die Festlegung in Konf-Info eine bedingte, stellt Konf-R durch Lesezugriff auf Konf fest, ob Sys-Ex die Bedingung erfüllt. Ist die Bedingung erfüllt oder die Festlegung eine unbedingte, so ist Ein die gesuchte Besetzung, die Kennung von Ein steht in Konf.

- Findet Konf-R mehrere passende Einheiten Ein, so sind die in Konf-Info abgespeicherten Informationen widersprüchlich. Konf-R bricht seine Arbeit ab und meldet den entdeckten Widerspruch.

(B) Falls Konf-R durch Schritt (A) keine passende Einheit gefunden hat, so stellt Konf-R durch Lesezugriff auf den fünften Speicher Konf-Info fest, welche Festlegungen der oben erwähnten Art (3) für die Rolle Ro in S-Typ in Konf-Info abgespeichert sind.

- Für jede Festlegung, die Ro in S-Typ mit einer Rolle Ro-1 in einem anderen System-Typ S1-Typ verknüpft, sucht Konf-R in Konf nach allen Kennungen für Exemplare vom Typ S1-Typ. Falls es derartige Kennungen gibt, seien Sys-Ex-1, ..., Sys-Ex-n die durch die Kennungen benannten Exemplare des Typs S1-Typ.

- Für jedes Sys-Ex-i ( $i = 1, \dots, n$ ) sucht Konf-R nach einem Tripel in Konf, das aus der Kennung für Sys-Ex-i, der für Ro-1 und der für eine Einheit Ein besteht. Ist die Festlegung eine bedingte der Art (Typ I), prüft Konf-R durch Lesezugriff auf Konf, ob Sys-Ex die Bedingung erfüllt; ist sie eine bedingte der Art (Typ II), prüft Konf-R, ob Sys-Ex-i die Bedingung erfüllt; ist sie eine bedingte der Art (Typ III), prüft Konf-R, ob sowohl Sys-Ex als auch Sys-Ex-i jeweils die Bedingung erfüllen.

- Findet Konf-R mehrere passende Einheiten

Ein, so sind die in Konf-Info abgespeicherten Informationen widersprüchlich. Konf-R bricht seine Arbeit ab und meldet den entdeckten Widerspruch.

#### Patentansprüche

1. Einrichtung zur rechnergestützten Diagnose eines aus Modulen bestehenden technischen Systems, bestehend aus einer Informationsverarbeitungseinrichtung mit Lesezugriff auf einen ersten Speicher (WM) und einen zweiten Speicher (Konf) sowie mindestens zeitweise mit Schreibzugriff auf einen dritten Speicher (Wb) in einer ersten Phase sowie mit mindestens zeitweisem Lesezugriff auf den dritten Speicher (Wb) in einer zweiten Phase, wobei im ersten Speicher (WM) Informationen über das technische System, über dessen Störungen und über dessen Diagnose so strukturiert abgespeichert sind, daß es

für den Typ von technischen Systemen, dem das technische System angehört, ein Wissens-Modul gibt, das alle benötigten Informationen über den inneren Aufbau eines technischen Systems dieses Typs sowie bei Bedarf über die Störungen, Abhilfen und Untersuchungen an einem technischen System dieses Typs enthält,

sowie für jeden Typ von Modulen, der mindestens einmal im technischen System vorkommt, jeweils ein Wissens-Modul gibt, das alle benötigten Informationen über den inneren Aufbau eines Moduls dieses Typs, das elementar oder aus anderen Modulen zusammengesetzt sein kann, sowie bei Bedarf über die Störungen, Abhilfen, Untersuchungen und Resultate an einem Modul dieses Typs enthält,

dadurch gekennzeichnet, daß im Wissens-Modul für den Typ, dem das technische System angehört, die Information enthalten ist, welche Rollen (Teilfunktionen) in einem technischen System dieses Typs besetzt sein müssen, damit das technische System seine Soll-Funktion erfüllen kann,

für jeden Typ von zusammengesetzten Modulen, die in einem technischen System auftreten, im Wissens-Modul für diesen Modul-Typ die Information enthalten ist, welche Rollen (Teilfunktionen) in einem Modul dieses Modul-Typs besetzt sein müssen, damit das Modul seine Soll-Funktion erfüllen kann,

im zweiten Speicher (Konf) die Konfiguration des technischen Systems abgespeichert ist und der dritte Speicher (Wb)

- ein Wissens-Modul für das technische System enthält, das aus dem Wissens-Modul für den Typ, dem das technische System angehört, erzeugt ist, und

- ein Wissens-Modul für jedes Modul im technischen System enthält, das aus dem Wissens-Modul für den Modul-Typ, dem das Modul angehört, erzeugt ist, und

- die Wissens-Module für die Besetzungen aller Rollen im technischen System in das Wissens-Modul für das technische System einfügt sind und

- die Wissens-Module für die Besetzungen aller Rollen in einem zusammengesetzten Modul in das Wissens-Modul für das zusammen-

zung von Ro dann zugleich Ro-1 besetzt, wenn Sys-Ex die Rolle Ro-2 in einem System vom Typ S2-Typ besetzt.

(3) Für eine Rolle Ro im Typ S-Typ kann festgelegt sein, weiche Rollen in anderen Systemen eine Besetzung von Ro in einem Exemplar vom Typ S-Typ ebenfalls besetzt. Zwei Arten von Festlegungen werden unterschieden:

- Eine unbedingte Festlegung nennt ausschließlich eine Rolle Ro-1 in einem anderen System-Typen S1-Typ. Diese Festlegung bedeutet, daß diejenige Einheit Ein, die in jedem Exemplar vom Typ S-Typ die Rolle Ro besetzt, zugleich auch in jedem Exemplar vom Typ S1-Typ die Rolle Ro-1 besetzt. Die Festlegung darf nur dann getroffen werden, wenn es nur eine einzige derartige Einheit Ein gibt.
  - Eine bedingte Festlegung nennt eine Rolle Ro-1 in einem anderen System-Typen S1-Typ und
    - entweder nur eine Bedingung für S-Typ, bestehend aus einer Rolle Ro-2 in einem von S-Typ verschiedenen System-Typen S2-Typ (Bedingung vom Typ I)
    - oder nur eine Bedingung für S1-Typ, bestehend aus einer Rolle Ro-2 in einem von S1-Typ verschiedenen System-Typen S2-Typ (Bedingung vom Typ II)
    - oder je eine Bedingung für S-Typ und eine für S1-Typ, wobei die erste Bedingung aus einer Rolle Ro-2 in einem von S-Typ verschiedenen System-Typen S2-Typ und die zweite Bedingung aus einer Rolle Ro-3 in einem von S1-Typ verschiedenen System-Typen S3-Typ besteht (Bedingung vom Typ III).
- Diese bedingte Festlegung bedeutet, daß diejenige Einheit Ein, die in einem Exemplar Sys-Ex vom Typ S-Typ die Rolle Ro besetzt, immer dann zusätzlich in einem Exemplar Sys-1-Ex vom Typ S1-Typ die Rolle Ro-1 besetzt, wenn
- Sys-Ex in einem Exemplar vom Typ S2-Typ die Rolle Ro-2 besetzt
  - bzw. Sys-1-Ex in einem Exemplar vom Typ S2-Typ die Rolle Ro-2 besetzt
  - bzw. sowohl Sys-Ex in einem Exemplar vom Typ S2-Typ die Rolle Ro-2 besetzt als auch Sys-1-Ex in einem Exemplar vom Typ S2-Typ die Rolle Ro-2 besetzt.

Die Konfigurations-Informationen sind zwar — genau wie die erfindungsgemäß strukturierten Wissens-Module — Einheits-Typen zugeordnet. Jedoch hängen die Konfigurations-Informationen über einen System-Typ S-Typ — im Gegensatz zu denen im Wissens-Modul für S-Typ — ab von der Verwendung eines Exemplars Sys-Ex vom Typ S-Typ und von der Version der Untereinheiten in Sys-Ex. Daher werden sie zweckmäßigerweise in einem eigenen fünften Speicher Konf-Info gehalten:

Die erfindungsgemäß aufgebaute Beschreibung der aktuellen Konfiguration eines technischen Systems TS wird durch eine weitere Komponente Konf-R der Einrichtung nach der Erfindung generiert und in dem zweiten Speicher Konf abgelegt. Konf-R hat Lesezugriff auf den erfindungsgemäß strukturierten ersten Speicher WM mit den Wissens-Modulen, auf den fünften Speicher Konf-Info, Schreibzugriff auf den zweiten Speicher Konf, der nach der Arbeit von Konf-R die aktuelle Kon-

figuration enthält, und Lese- und Schreibzugriff auf den Arbeitsspeicher AS.

Damit die Komponente Konf-R arbeiten kann, muß sie automatisch für jede Einheit Ein im technischen System eine eindeutige Kennung erzeugen. Diese Kennung hängt zweckmäßigerweise ab vom Typ, von dem Ein ist, und — außer wenn Ein das technische System selber ist — von der Kennung eines Systems Sys-Ex, in dem Ein eine Rolle besetzt, und von der Kennung dieser Rolle.

Das Vorgehen der Komponente Konf-R für ein technisches System TS erläutert Fig. 13:

Jeder Eintrag im Arbeitsspeicher AS ist ein Tupel, bestehend aus einer Kennung für das technische System TS oder einem Teilsystem SYS von TS sowie einer Kennung für eine Rolle in TS bzw. SYS. Für jedes durch ein Tupel in AS bezeichnete Paar ist die Besetzung noch zu ermitteln. Die Einträge im zweiten Speicher Konf werden von der Komponente Konf-R erzeugt, jeder Eintrag ist ein Tripel, bestehend aus einer Kennung für TS oder einem Teilsystem SYS von TS, einer Kennung für eine Rolle Ro in TS bzw. SYS und einer Kennung für die Einheit Ein, die Ro in TS bzw. SYS besetzt.

- Konf-R ermittelt, welchem Typ TS-Typ TS angehört, und speichert diese Information in Konf ab
- Konf-R ermittelt durch Lesezugriff auf WM, welche Rollen in TS-Typ existieren.
- Für jede derartige Rolle Ro trägt Konf-R in AS ein Tupel ein, bestehend aus der Kennung für TS und der für Ro.
- Konf-R durchläuft die folgende Schleife so oft, bis AS leer ist:
  - Konf-R ermittelt in AS jedes Tupel, das ein System SYS und eine Rolle Ro in SYS bezeichnet, für dessen Besetzung Ein die Kennung bereits erzeugt wurde. Daß die Kennung für Ein bereits erzeugt wurde, ist dann möglich, wenn Ein zugleich eine andere Rolle besetzt. Wie Konf-R diese Tupel ermittelt, schildert der nächste Absatz.
  - Für jedes derartige Tupel
    - schreibt Konf-R ein Tripel in Konf, das aus der Kennung von SYS, der von Ro und der von Ein besteht.
    - löscht Konf-R in AS das Tupel
  - Falls AS noch Tupel enthält, so vollführt Konf-R folgende Arbeitsschritte:
    - Konf-R wählt ein anderes Tupel aus AS aus. Sei SYS das durch das Tupel bezeichnete System und Ro die bezeichnete Rolle in SYS.
    - Konf-R stellt durch Lesezugriff auf Konf fest, von welchem Typ SYS ist
    - Konf-R stellt durch Lesezugriff auf Konf-Info fest, von welchem Typ E-Typ die Besetzung Ein von Ro in SYS ist.
    - Konf-R erzeugt eine Kennung für Ein, die von E-Typ, Ro und SYS abhängt.
    - Konf-R trägt in Konf ein Tripel ein, bestehend aus den Kennungen für SYS, Ro und Ein
    - Konf-R trägt in Konf ein, daß Ein vom Typ E-Typ ist, d. h. trägt in Konf einen Verweis von der Kennung für Ein auf die für E-Typ ein.
    - Konf-R löscht in AS das Tupel
    - Konf-R ermittelt durch Lesezugriff auf

WM, ob E-Typ ein System- oder ein Komponenten-Typ ist

- Falls E-Typ ein System-Typ ist,
  - ermittelt Konf-R alle Rollen in E-Typ
  - und trägt für jede Rolle in E-Typ eine Kennung in AS ein, die aus einer Kennung für Ein und einer für die Rolle besteht.
- Falls der Arbeitsspeicher AS leer ist, so ist die aktuelle Konfiguration vollständig im zweiten Speicher Konf abgespeichert.

Durch die im folgenden beschriebenen Schritte (A) und (B) stellt die Komponente Konf-R fest, ob ein Tupel im Arbeitsspeicher AS ein System und eine Rolle bezeichnet, für dessen Besetzung schon eine Kennung erzeugt wurde: Sei Sys-Ex das System und Ro die Rolle im System, aus deren Kennungen das Tupel besteht.

(A) Konf-R ermittelt den Typen S-Typ von Sys-Ex und stellt durch Lesezugriff auf den fünften Speicher Konf-Info fest, welche Festlegungen der oben erwähnten Art (2) für die Rolle Ro in S-Typ in Konf-Info abgespeichert sind.

- Für jede Festlegung, die Ro in S-Typ mit einer anderen Rolle Ro-1 in S-Typ verknüpft, sucht Konf-R nach einem Tripel in Konf, das aus der Kennung für Sys-Ex, der für Ro-1 und der für eine Einheit Ein besteht. Ist die Festlegung in Konf-Info eine bedingte, stellt Konf-R durch Lesezugriff auf Konf fest, ob Sys-Ex die Bedingung erfüllt. Ist die Bedingung erfüllt oder die Festlegung eine unbedingte, so ist Ein die gesuchte Besetzung, die Kennung von Ein steht in Konf.

- Findet Konf-R mehrere passende Einheiten Ein, so sind die in Konf-Info abgespeicherten Informationen widersprüchlich. Konf-R bricht seine Arbeit ab und meldet den entdeckten Widerspruch.

(B) Falls Konf-R durch Schritt (A) keine passende Einheit gefunden hat, so stellt Konf-R durch Lesezugriff auf den fünften Speicher Konf-Info fest, welche Festlegungen der oben erwähnten Art (3) für die Rolle Ro in S-Typ in Konf-Info abgespeichert sind.

- Für jede Festlegung, die Ro in S-Typ mit einer Rolle Ro-1 in einem anderen System-Typ S1-Typ verknüpft, sucht Konf-R in Konf nach allen Kennungen für Exemplare vom Typ S1-Typ. Falls es derartige Kennungen gibt, seien Sys-Ex-1, ..., Sys-Ex-n die durch die Kennungen benannten Exemplare des Typs S1-Typ.

- Für jedes Sys-Ex-i ( $i=1, \dots, n$ ) sucht Konf-R nach einem Tripel in Konf, das aus der Kennung für Sys-Ex-i, der für Ro-1 und der für eine Einheit Ein besteht. Ist die Festlegung eine bedingte der Art (Typ I), prüft Konf-R durch Lesezugriff auf Konf, ob Sys-Ex die Bedingung erfüllt; ist sie eine bedingte der Art (Typ II), prüft Konf-R, ob Sys-Ex-i die Bedingung erfüllt; ist sie eine bedingte der Art (Typ III), prüft Konf-R, ob sowohl Sys-Ex als auch Sys-Ex-i jeweils die Bedingung erfüllen.
- Findet Konf-R mehrere passende Einheiten

Ein, so sind die in Konf-Info abgespeicherten Informationen widersprüchlich. Konf-R bricht seine Arbeit ab und meldet den entdeckten Widerspruch.

#### Patentansprüche

1. Einrichtung zur rechnergestützten Diagnose eines aus Modulen bestehenden technischen Systems, bestehend aus einer Informationsverarbeitungseinrichtung mit Lesezugriff auf einen ersten Speicher (WM) und einen zweiten Speicher (Konf) sowie mindestens zeitweise mit Schreibzugriff auf einen dritten Speicher (Wb) in einer ersten Phase

sowie mit mindestens zeitweisem Lesezugriff auf den dritten Speicher (Wb) in einer zweiten Phase, wobei im ersten Speicher (WM) Informationen über das technische System, über dessen Störungen und über dessen Diagnose so strukturiert abgespeichert sind, daß es

für den Typ von technischen Systemen, dem das technische System angehört, ein Wissens-Modul gibt, das alle benötigten Informationen über den inneren Aufbau eines technischen Systems dieses Typs sowie bei Bedarf über die Störungen, Abhilfen und Untersuchungen an einem technischen System dieses Typs enthält,

sowie für jeden Typ von Modulen, der mindestens einmal im technischen System vorkommt, jeweils ein Wissens-Modul gibt, das alle benötigten Informationen über den inneren Aufbau eines Moduls dieses Typs, das elementar oder aus anderen Modulen zusammengesetzt sein kann, sowie bei Bedarf über die Störungen, Abhilfen, Untersuchungen und Resultate an einem Modul dieses Typs enthält, dadurch gekennzeichnet, daß

im Wissens-Modul für den Typ, dem das technische System angehört, die Information enthalten ist, welche Rollen (Teilfunktionen) in einem technischen System dieses Typs besetzt sein müssen, damit das technische System seine Soll-Funktion erfüllen kann,

für jeden Typ von zusammengesetzten Modulen, die in einem technischen System des Typs auftreten, im Wissens-Modul für diesen Modul-Typ die Information enthalten ist, welche Rollen (Teilfunktionen) in einem Modul dieses Modul-Typs besetzt sein müssen, damit das Modul seine Soll-Funktion erfüllen kann,

im zweiten Speicher (Konf) die Konfiguration des technischen Systems abgespeichert ist und der dritte Speicher (Wb)

- ein Wissens-Modul für das technische System enthält, das aus dem Wissens-Modul für den Typ, dem das technische System angehört, erzeugt ist, und

- ein Wissens-Modul für jedes Modul im technischen System enthält, das aus dem Wissens-Modul für den Modul-Typ, dem das Modul angehört, erzeugt ist, und

- die Wissens-Module für die Besetzungen aller Rollen im technischen System in das Wissens-Modul für das technische System eingefügt sind und

- die Wissens-Module für die Besetzungen aller Rollen in einem zusammengesetzten Modul in das Wissens-Modul für das zusammen-

gesetzte Modul eingefügt sind.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß

im ersten Speicher (WM) für den Typ von technischen Systemen, dem das technische System angehört, sowie für jeden Typ von Modul, der mindestens einmal im technischen System vorkommt, abgespeichert ist,

- welche eindeutige Kennung der Typ hat,
- welche Störungen an einem technischen System bzw. einem Modul des Typs unmittelbar nach außen wirken,
- welche Störungen an einem technischen System bzw. einem Modul des Typs unmittelbar von außen bewirkt werden,
- welche Störungen an einem technischen System bzw. einem Modul des Typs intern wirken,
- welche Störungen an einem technischen System bzw. einem Modul des Typs welche anderen Störungen an dem technischen System bzw. dem Modul zur Folge haben,
- und, bei einem Modul des Typs, ob es elementar oder zusammengesetzt ist,

ferner im ersten Speicher (WM) für den Typ von technischen Systemen, dem das technische System angehört, sowie für jeden Typ von zusammengesetzten Modulen, der mindestens einmal im technischen System vorkommt,

für jede Rolle in einem technischen System bzw. einem zusammengesetzten Modul des Typs

- abgespeichert ist, welche Störungen an der Rolle unmittelbar nach außen wirken,
- abgespeichert ist, welche Störungen an der Rolle unmittelbar von außen bewirkt werden,
- für jede Störung St an der Rolle, die unmittelbar nach außen wirkt, abgespeichert ist, welche anderen Störungen an dem technischen System bzw. dem Modul und welche Störungen an anderen Rollen in dem technischen System bzw. dem Modul die Störung St zur Folge hat,
- für jede Störung St an der Rolle, die unmittelbar von außen bewirkt wird, abgespeichert ist, von welchen anderen Störungen an dem technischen System bzw. dem Modul und von welchen Störungen an anderen Rollen in dem technischen System bzw. dem Modul die Störung St eine Folge ist.

3. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß im zweiten Speicher (Konf)

- abgespeichert ist, von welchem Typ das technische System ist,
- für das technische System und für jedes zusammengesetzte Modul im technischen System abgespeichert ist, von welchem Typ das Modul ist, das die Rolle besetzt, und
- abgespeichert ist, welche Module gleichzeitig mehrere Rollen besetzen.

4. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß

im ersten Speicher (WM) für jede Störung, die an einem technischen System des Typs von technischen Systemen, dem das technische System angehört, auftritt und die unmittelbar von außen bewirkt wird, eine Abhilfe abgespeichert ist, im ersten Speicher (WM) für den Typ, dem das

technische System angehört, sowie für jeden Typ von Modulen, der mindestens einmal im technischen System vorkommt,

- für jede Störung, die an einem technischen System bzw. einem Modul des Typs auftritt und die weder Folge einer anderen Störung am technischen System bzw. dem Modul noch einer anderen Störung an einer Rolle im dem technischen System bzw. dem Modul ist noch unmittelbar von außen bewirkt wird, eine Abhilfe am technischen System bzw. dem Modul abgespeichert ist,

— abgespeichert ist, welche Untersuchungen an einem technischen System bzw. einem Modul des Typs im Verlaufe einer Diagnose durchgeführt werden können,

- für jede Untersuchung, die an einem technischen System bzw. einem Modul des Typs durchgeführt werden kann, ihr Soll-Resultat abgespeichert ist, d. h. abgespeichert ist, welches Resultat die Untersuchung dann hat, wenn das technische System ungestört ist,

— für jede Untersuchung an einem technischen System bzw. einem Modul des Typs durchgeführt werden kann, alle ihre Nicht-Soll-Resultate abgespeichert sind, d. h. abgespeichert ist, welche Resultate die Untersuchung außer ihrem Soll-Resultat haben kann,

- für jedes Nicht-Soll-Resultat einer Untersuchung, die an einem technischen System bzw. einem Modul des Typs durchgeführt werden kann, abgespeichert ist, durch welche Störungen an dem technischen System bzw. Modul es erklärt wird, und

— für jedes Resultat einer Untersuchung, die an einem technischen System bzw. einem Modul des Typs durchgeführt werden kann, abgespeichert ist, mit welchen Störungen an dem technischen System bzw. Modul es unvereinbar ist.

5. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß

im ersten Speicher (WM)

für den Typ von technischen Systemen, dem das technische System angehört, sowie für jeden Typ von Modul, der mindestens einmal im technischen System vorkommt, eine eindeutige Kennung des Typs abgespeichert ist, und

im zweiten Speicher (Konf)

- für das technische System und für jedes Modul im technischen System je eine eindeutige Kennung abgespeichert ist und
- für jede Rolle im technischen System und für jede Rolle in jedem zusammengesetzten Modul im technischen System abgespeichert ist, welche Kennung das Modul hat, das die Rolle besetzt.

6. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß

eine Komponente der Informationsverarbeitung für das technische System und für jedes Modul im technischen System eine eindeutige Kennung erzeugt

und in dem Falle, daß ein Modul zusammengesetzt ist, für jede Rolle in diesem Modul die Kennung der Besetzung der Rolle im Modul ermittelt.

7. Einrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 6, mit einer Komponente (Wb-Ersteller) mit Lesezug-

riff auf den ersten Speicher (WM) und dem zweiten Speicher (Konf) sowie mindestens zeitweise mit Schreibzugriff auf einen vierten Speicher (Wb-zw) in einer ersten Teilphase der ersten Phase und einer weiteren Komponente (Wb-Extrahierer) mindestens zeitweise mit Lesezugriff auf den vierten Speicher (Wb-zw) und mindestens zeitweise mit Schreibzugriff auf den dritten Speicher (Wb) in einer zweiten Teilphase der ersten Phase dadurch gekennzeichnet, daß

die eine Komponente (Wb-Ersteller) in der ersten Teilphase die Wissensbasis für ein technisches System anhand der nach einem der Ansprüche 1 bis 5 gespeicherten Informationen erstellt und im vierten Speicher (Wb-zw) abspeichert, und die weitere Komponente (Wb-Extrahierer) in der zweiten Teilphase

- ermittelt, welche Einfach-Ursachen für Fehlverhalten des technischen System und seiner Module auftreten können,
- für jede dieser Ursachen ermittelt, durch welche Abhilfe die Ursache beseitigt wird,
- ermittelt, welche Untersuchungen am technischen System und seinen Modulen im Verlaufe einer Diagnose durchgeführt werden können,
- für jede dieser Untersuchungen ermittelt, welches Soll-Resultat und welche Nicht-Soll-Resultate die Untersuchung hat,
- für jedes Resultat ermittelt, mit welchen Ursachen es unvereinbar ist,
- für jedes Nicht-Soll-Resultat zusätzlich ermittelt, durch welche Ursachen es erklärt wird,

— und alle diese Informationen im dritten Speicher (Wb) abspeichert.

8. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß

die Informationen im ersten Speicher (WM) taxonomisch geordnet sind, indem im Wissens-Modul mindestens eines Modul-Typs ein Verweis auf einen Modul-Typen gespeichert ist, aus dessen Wissens-Modul diejenigen Informationen, die im Wissen-Modul des Modul-Typs fehlen, zu entnehmen sind.

9. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, mit einer Komponente (Konf-R) mit Lesezugriff auf den ersten Speicher (WM) und einen fünften Speicher (Konf-Info) sowie zumindest mit Schreibzugriff auf den zweiten Speicher (Konf)

dadurch gekennzeichnet, daß im fünften Speicher (Konf-Info) für den Typ von technischen Systemen, dem das technische System angehört, sowie für jeden Typ von zusammengesetzten Modulen, der mindestens einmal im technischen System vorkommt,

für jede Rolle in einem technischen System bzw. Modul dieses Typs

- abgespeichert ist, von welchem Modul-Typ die Besetzung dieser Rolle ist
- abgespeichert ist, welche anderen Rollen in dem technischen System bzw. in dem Modul eine Besetzung dieser Rolle zusätzlich besetzt, wobei diese Festlegung an eine Bedingung geknüpft ist,
- abgespeichert ist, welche Rollen in anderen zusammengesetzten Modulen eine Besetzung dieser Rolle zusätzlich besetzt, wobei diese Festlegung an eine Bedingung knüpft ist,

und die Komponente (Konf-R) vor der ersten Phase nach Lesezugriff auf den fünften Speicher (Konf-Info) die Konfiguration des technischen Systems ermittelt und im zweiten Speicher (Konf) abspeichert.

10. Einrichtung zur rechnergestützten Diagnose eines aus Modulen bestehenden technischen Systems, bestehend aus einer ersten Teil-Einrichtung mit Lesezugriff auf einen ersten Speicher (WM) und einen zweiten Speicher (Konf) sowie mindestens zeitweise mit Schreibzugriff auf einen dritten Speicher (Wb)

und einer zweiten Teil-Einrichtung mit mindestens zeitweisem Lesezugriff auf den dritten Speicher (Wb),

dadurch gekennzeichnet, daß

in einer ersten Phase die erste Teil-Einrichtung die Wissensbasis für das technische System anhand von Informationen, die gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9 gespeichert sind, erstellt

und in einer zweiten Phase die zweite Teil-Einrichtung das technische System diagnostiziert.

11. Einrichtung nach Anspruch 10

dadurch gekennzeichnet, daß

die zweite Teil-Einrichtung in der zweiten Phase

- per Lesezugriff auf den dritten Speicher (Wb) ermittelt, welche Ursachen für Fehlverhalten des technischen Systems und seiner Module auftreten können, und diese Ursachen in den Arbeitsspeicher (AS) einträgt,

— danach in einer Schleife solange, wie der Arbeitsspeicher (AS) noch mehrere Ursachen enthält, die Abfolge ausführt, die daraus besteht, daß die zweite Teil-Einrichtung

- eine Untersuchung selber ausführt oder von einer anderen Operationseinheit ausführen läßt,

— danach ermittelt, welches Resultat die Untersuchung hat,

— danach aus dem Arbeitsspeicher (AS) alle Ursachen, die mit dem Resultat unvereinbar sind, streicht,

— danach dann, wenn das Resultat ein Nicht-Soll-Resultat der Untersuchung ist,

- aus dem Arbeitsspeicher (AS) die Ursachen streicht und zwischenspeichert, die das Resultat nicht erklären,

— und den Arbeitsspeicher (AS) um alle Mehrfach-Ursachen ergänzt, die aus einer Ursache, die das Resultat erklärt, und einer Ursache, die die zweite Teil-Einrichtung gerade zwischengespeichert hat, besteht,

- danach dann, wenn im Arbeitsspeicher (AS) noch eine einzige Ursache enthalten ist,

— diese Ursache als tatsächlich vorliegend markiert und

— die zugeordnete Abhilfe selber ausführt oder von einer anderen Operationseinheit ausführen läßt,

- bzw. danach dann, wenn im Arbeitsspeicher (AS) keine Ursache enthalten ist, das technische System als störungsfrei markiert.

12. Einrichtung nach einem der Ansprüche 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Speicher (Konf) in dem zu diagnostizierenden technischen System enthalten ist

und erst zu dem Zeitpunkt, zu dem das technische



System diagnostiziert werden soll, die erste Teil-Einrichtung durch On-line-Zugang oder per Datenträger Lesezugriff auf den zweiten Speicher (Konf) erhält und automatisch den dritten Speicher (Wb) beschreibt.

13. Einrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Speicher (WM) ganz oder teilweise in dem zu diagnostizierenden technischen System enthalten ist, und erst zu dem Zeitpunkt, zu dem das technische System diagnostiziert werden soll, die erste Teil-Einrichtung durch On-line-Zugang oder per Datenträger Lesezugriff auf den zweiten Speicher (Konf) erhält und automatisch den dritten Speicher (Wb) beschreibt.

14. Einrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Teil-Einrichtung und die zweite Teil-Einrichtung mit derselben Datenverarbeitungsanlage realisiert sind.

15. Einrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Teil-Einrichtung und/oder die zweite Teil-Einrichtung in dem zu diagnostizierenden technischen System enthalten sind.

16. Einrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß im ersten Speicher (WM)

für jede Ursache für Fehlverhalten des technischen Systems eine Charakterisierung ihrer Auftretens-Häufigkeit abgespeichert ist und für jede Untersuchung, die am technischen System durchgeführt werden kann, eine Charakterisierung der Kosten ihrer Durchführung abgespeichert ist.

17. Einrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Teil-Einrichtung das Kosten/Nutzen-Verhältnis für die Durchführung einer Untersuchung anhand der im ersten Speicher (WM) gespeicherten Informationen über Auftretens-Häufigkeiten der Ursachen und Kosten der Untersuchungen ermittelt.

18. Einrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Teil-Einrichtung einen vollständigen Störungs-Graphen für das technische System anhand von Informationen, die gemäß einem der Ansprüche 1 bis 17 gespeichert sind, erzeugt und im dritten Speicher (Wb) abspeichert.

Hierzu 16 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

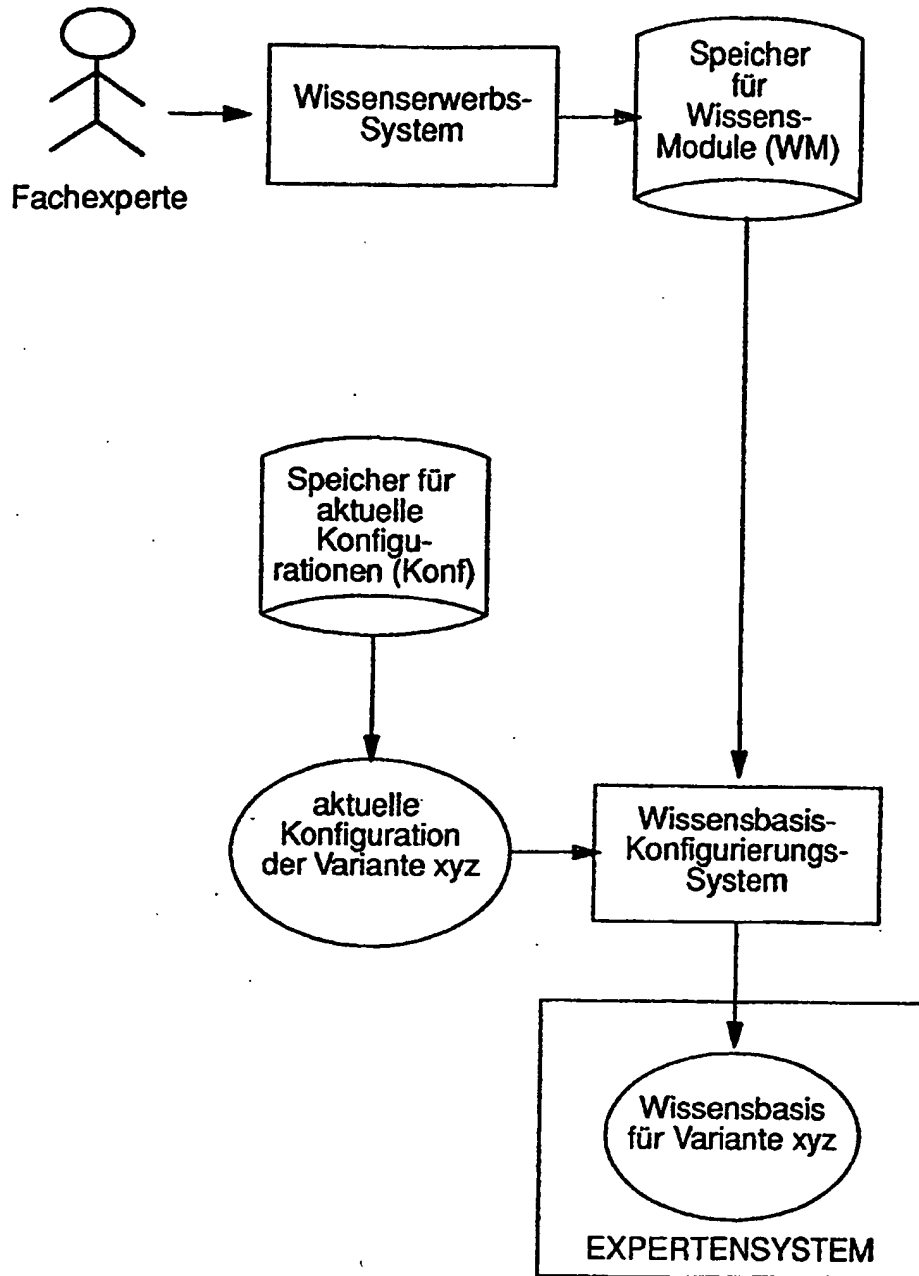


Fig. 1

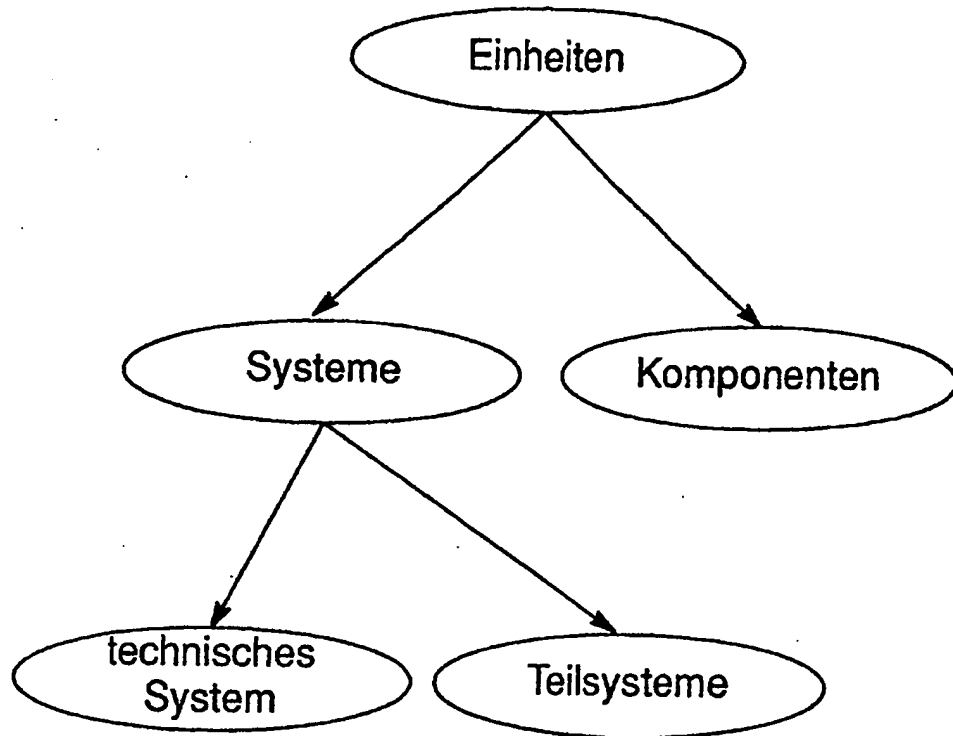


Fig. 2

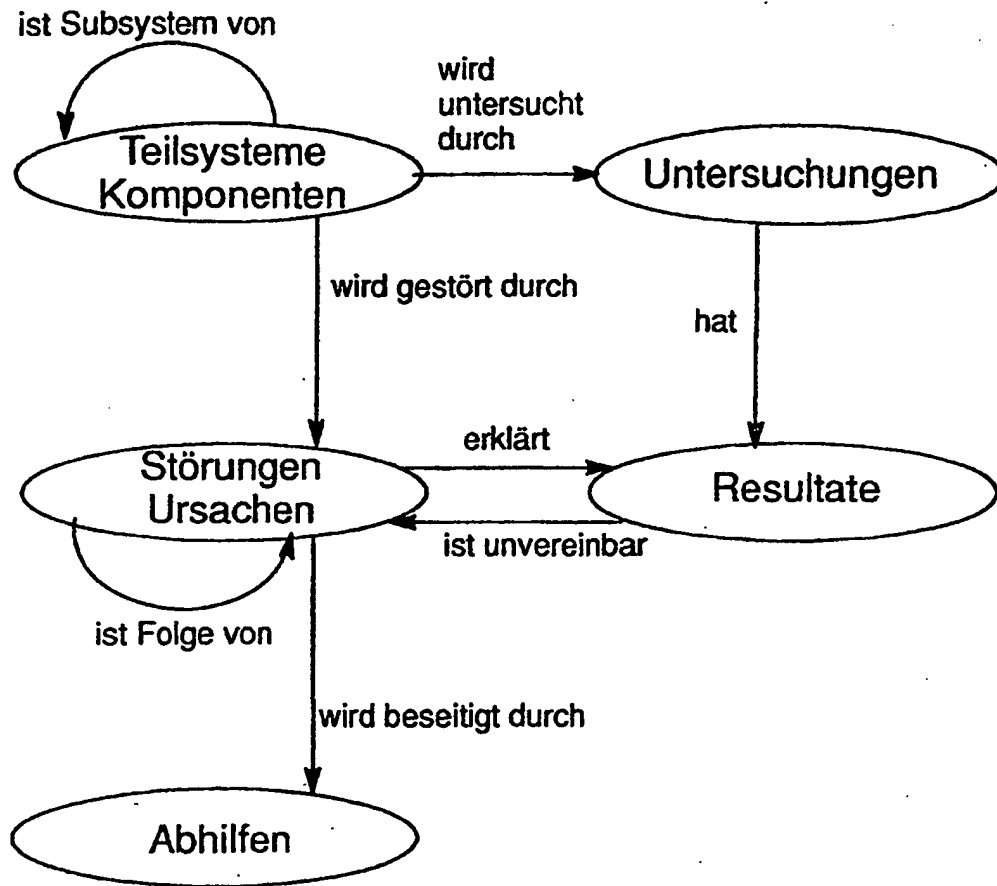
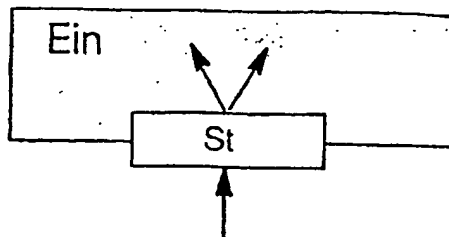
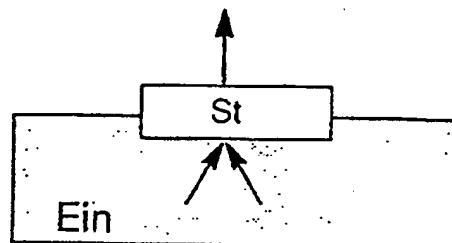


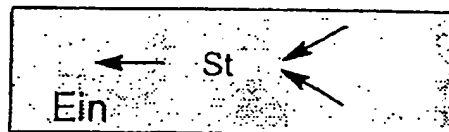
Fig. 3



St wird unmittelbar von außen an Ein bewirkt

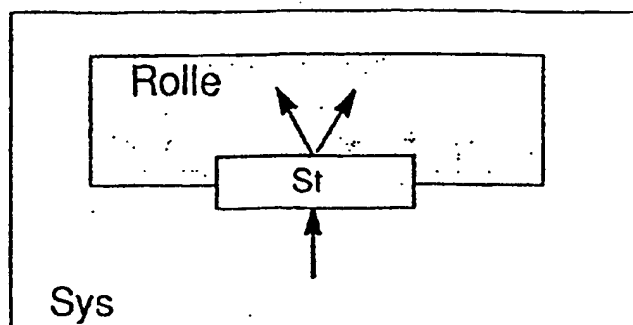


St wirkt unmittelbar von Ein nach außen

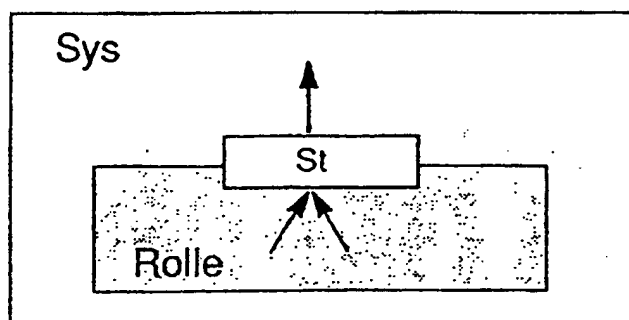


St stört Ein intern

Fig. 4



St wird unmittelbar von außen an Rolle in Sys bewirkt



St wirkt unmittelbar von Rolle in Sys nach außen

Fig. 5

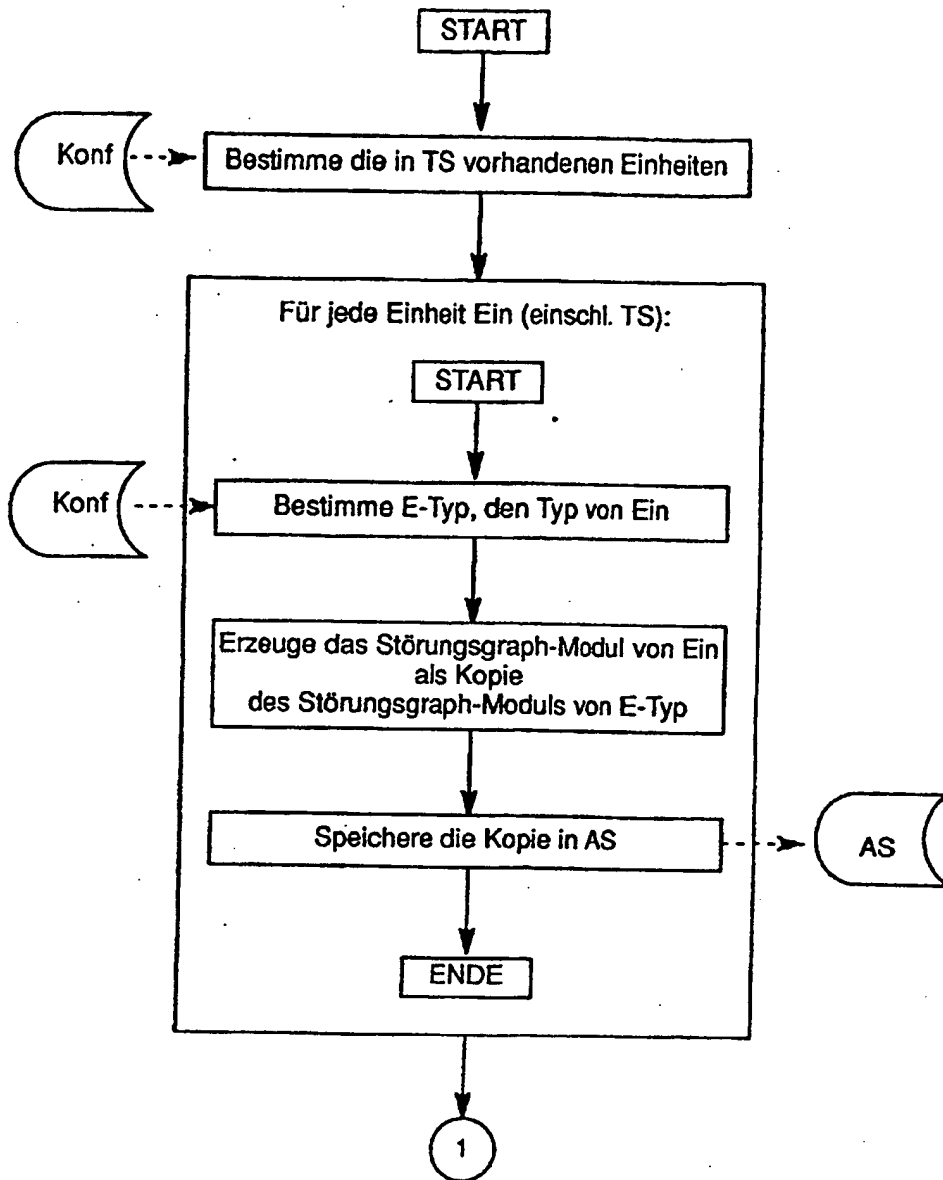


Fig. 6



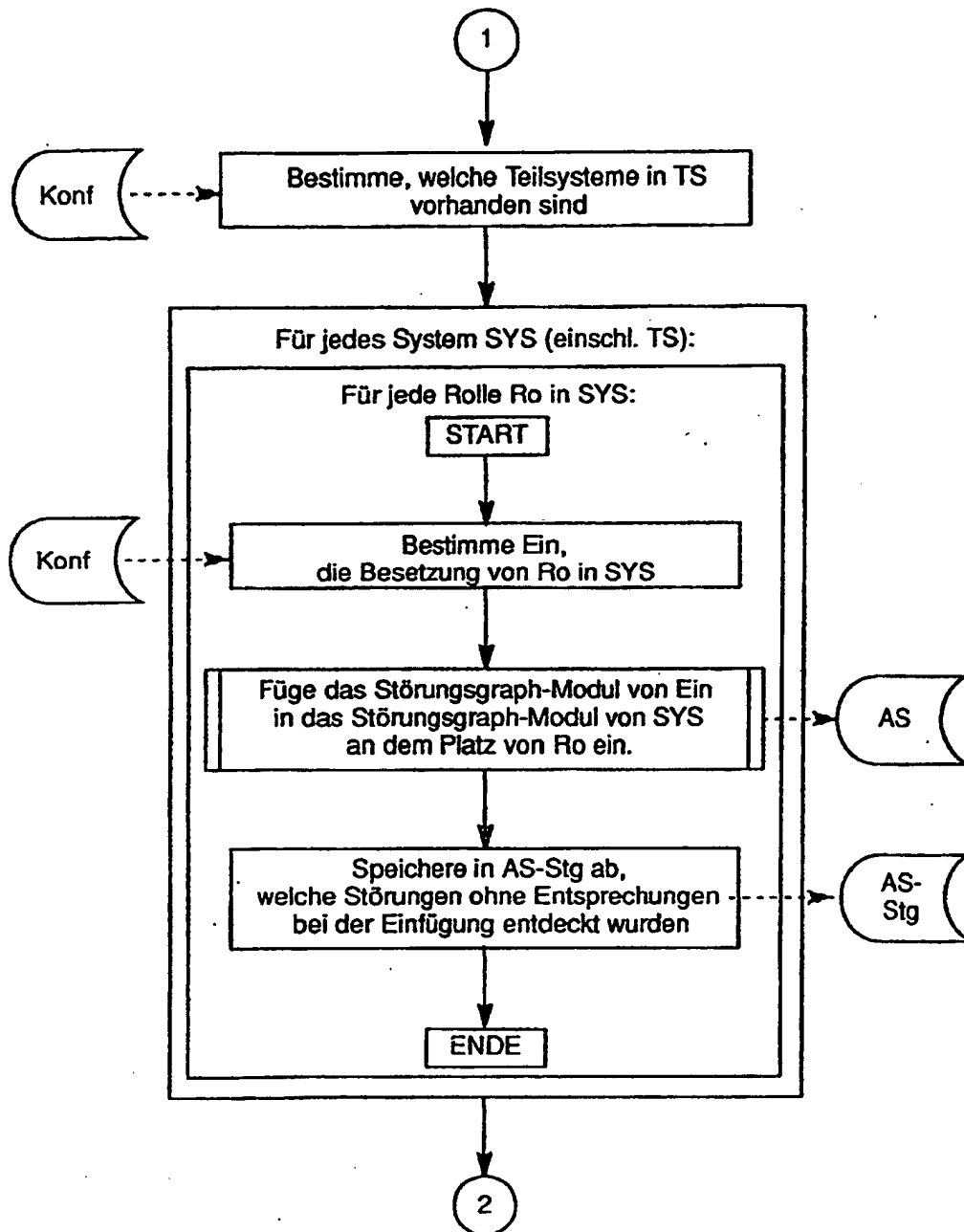


Fig. 6a

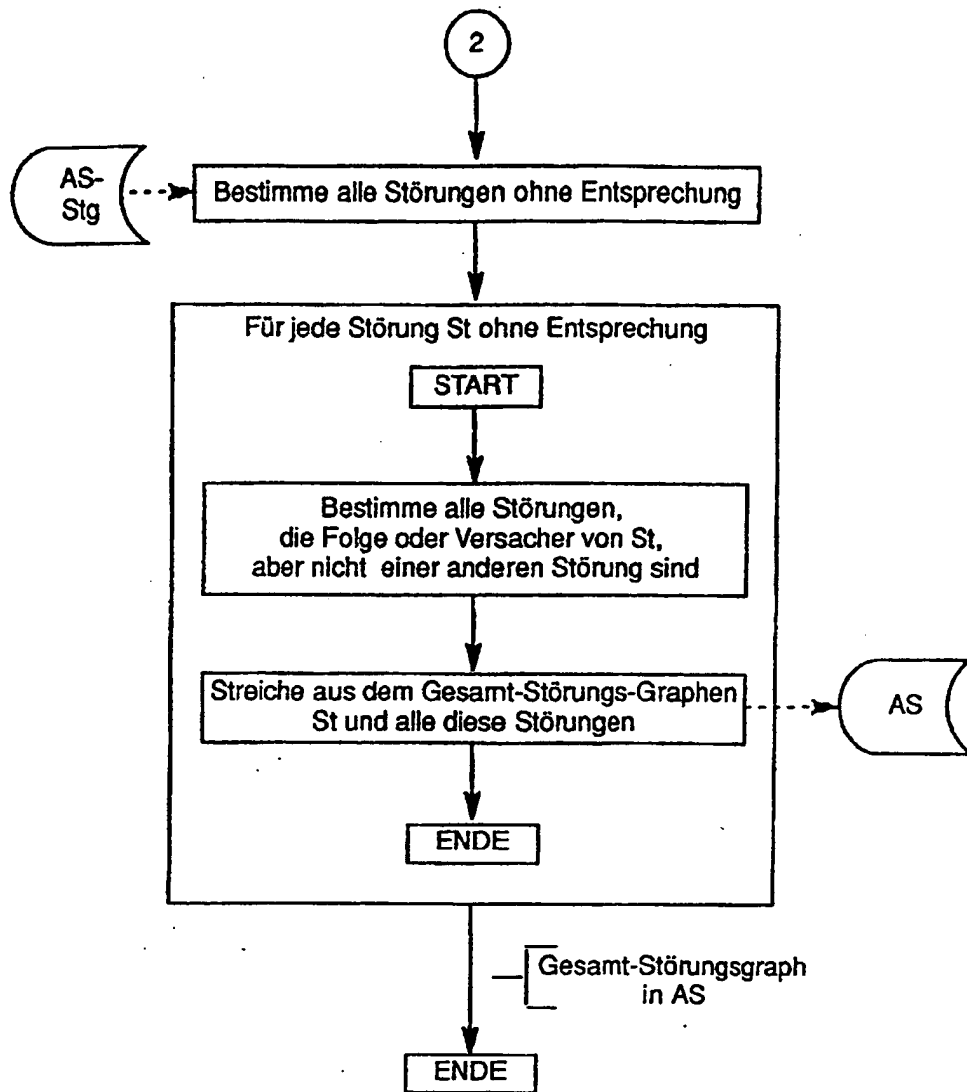


Fig. 6b

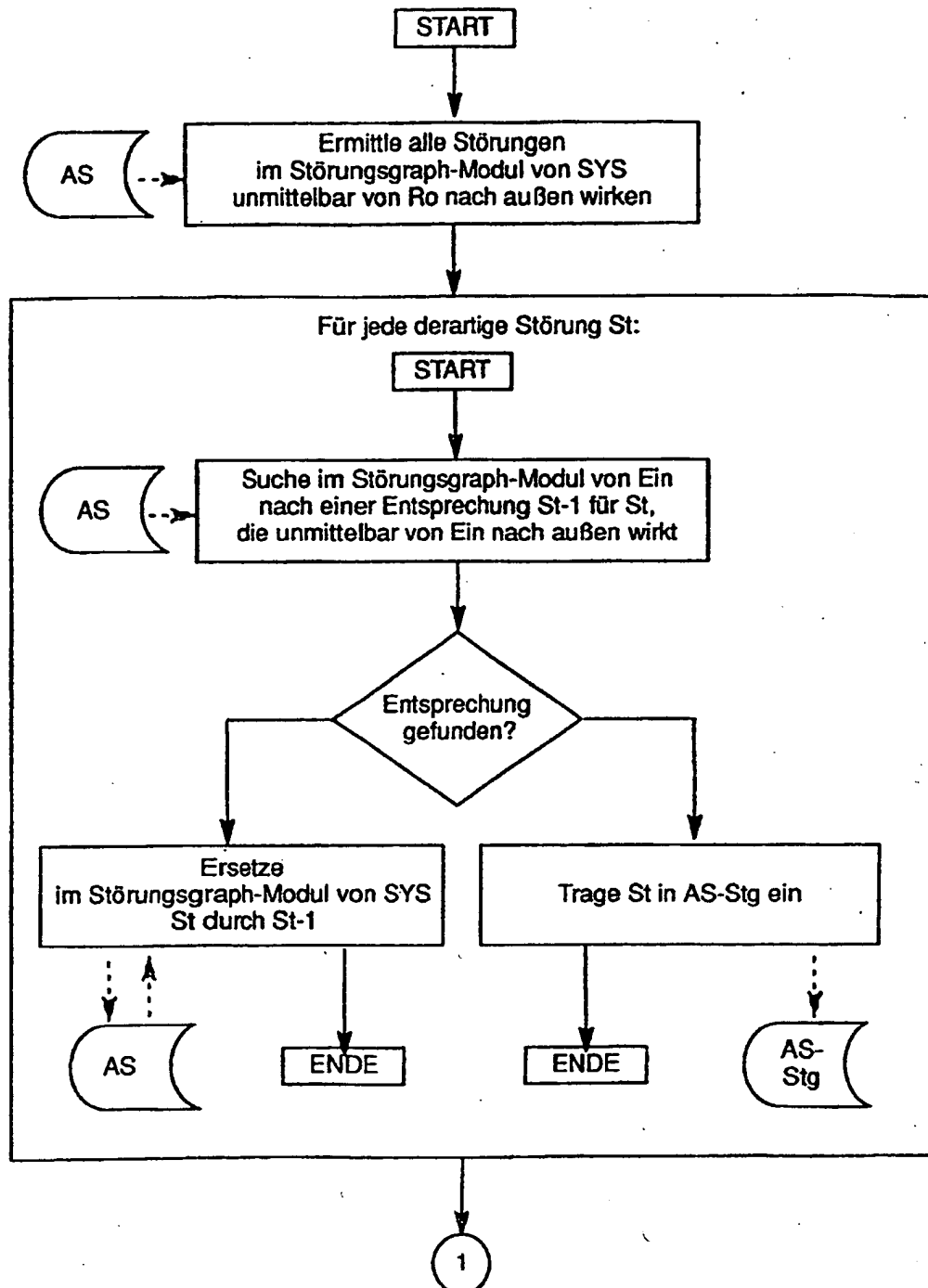
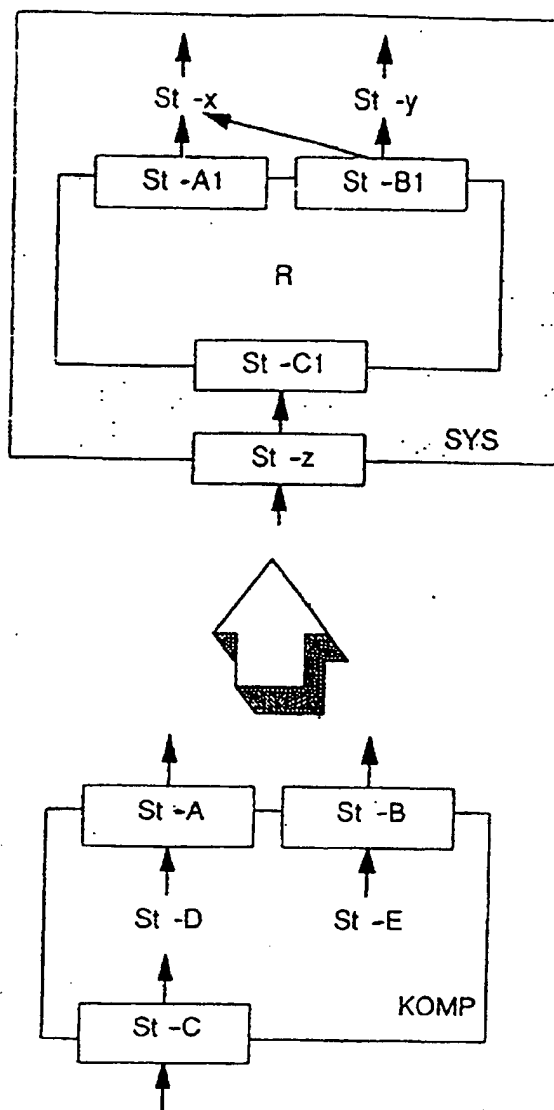


Fig. 7



Im Speicher Konf ist folgende Information abgespeichert:  
Die Rolle R im System SYS wird von der Einheit KOMP besetzt.

Bei der Einfügung wird ermittelt:

- o St -A entspricht St -A1
- o St -B entspricht St -B1
- o St -C entspricht St -C1

Fig. 8

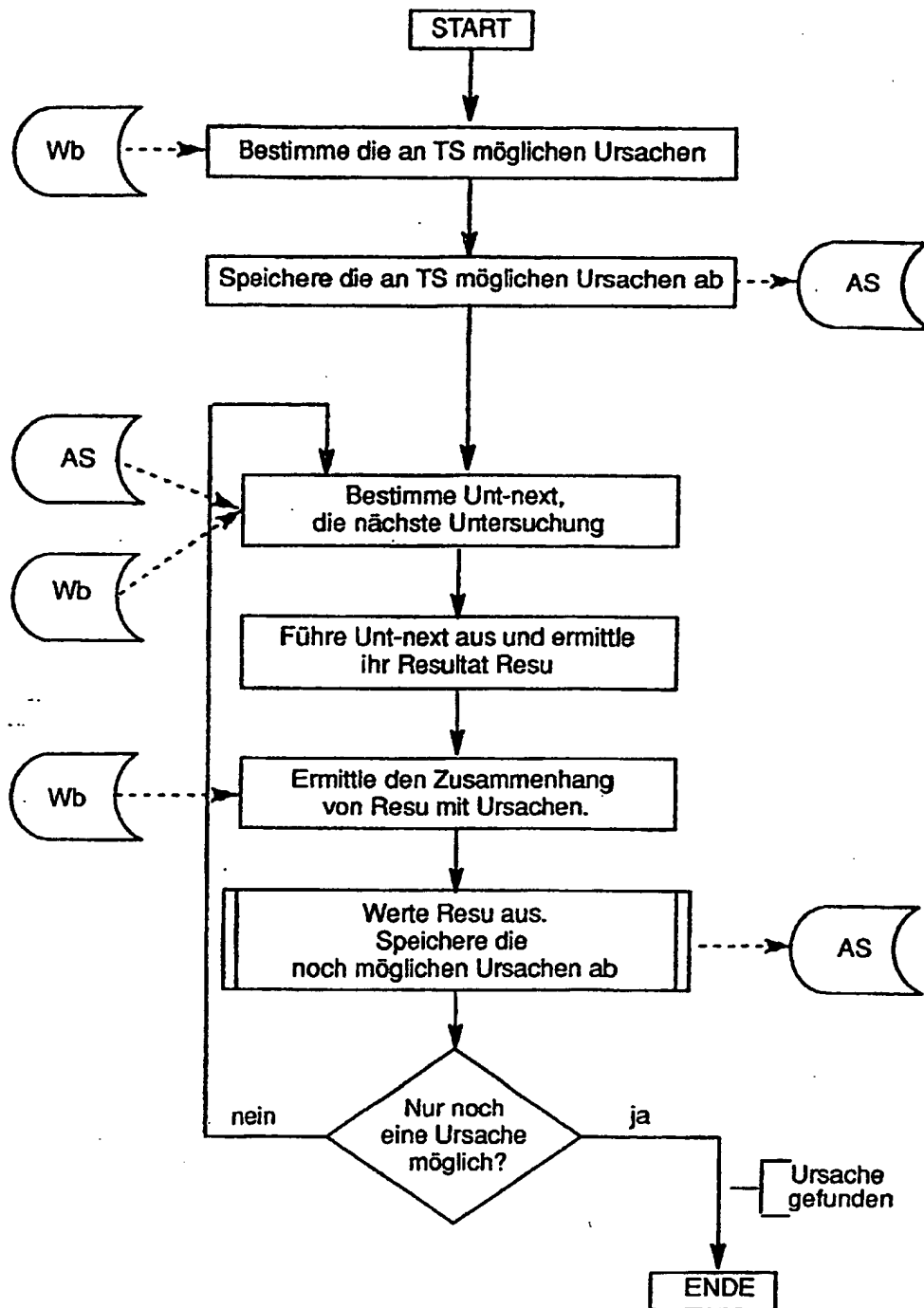


Fig. 9

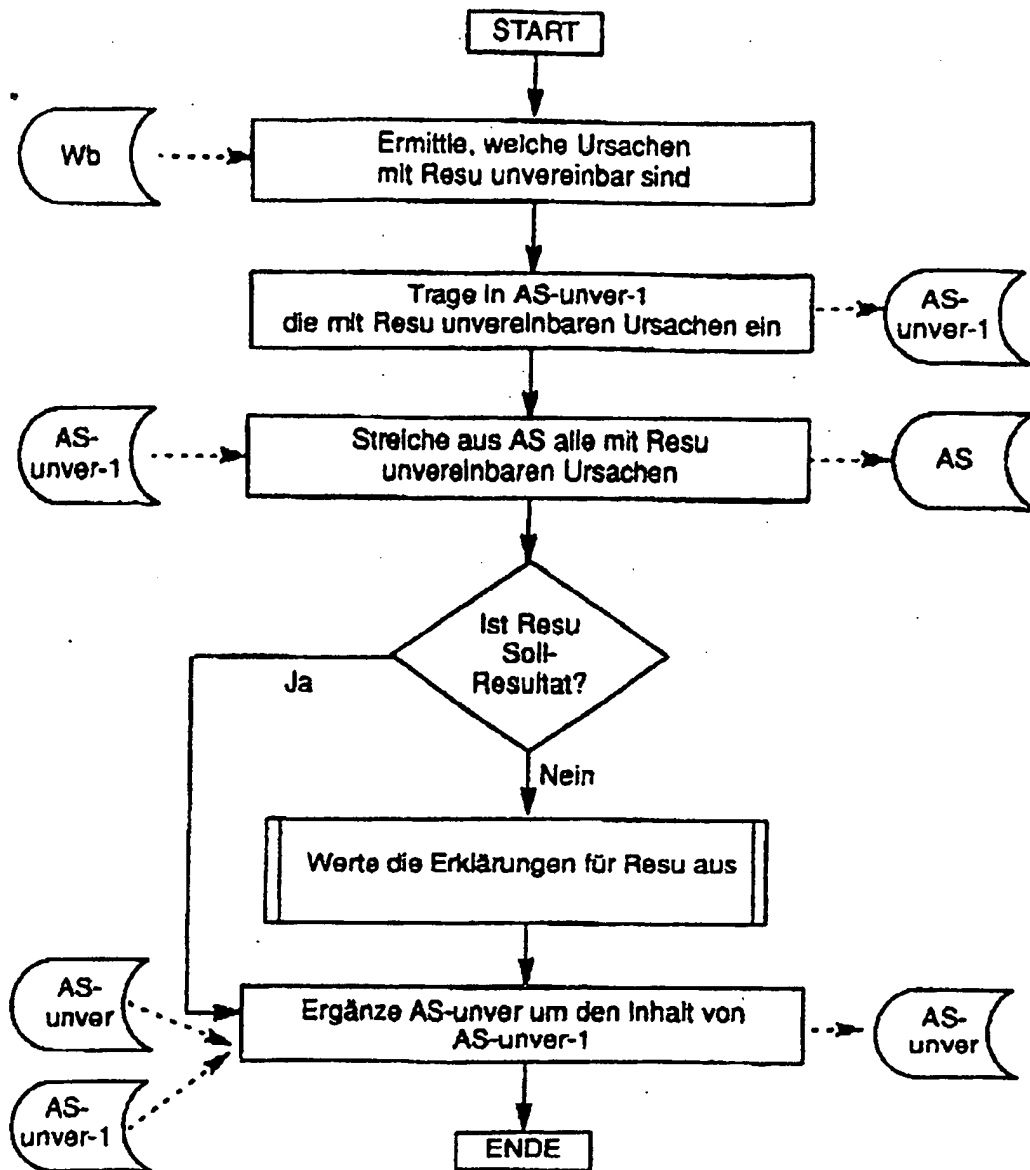


Fig. 10

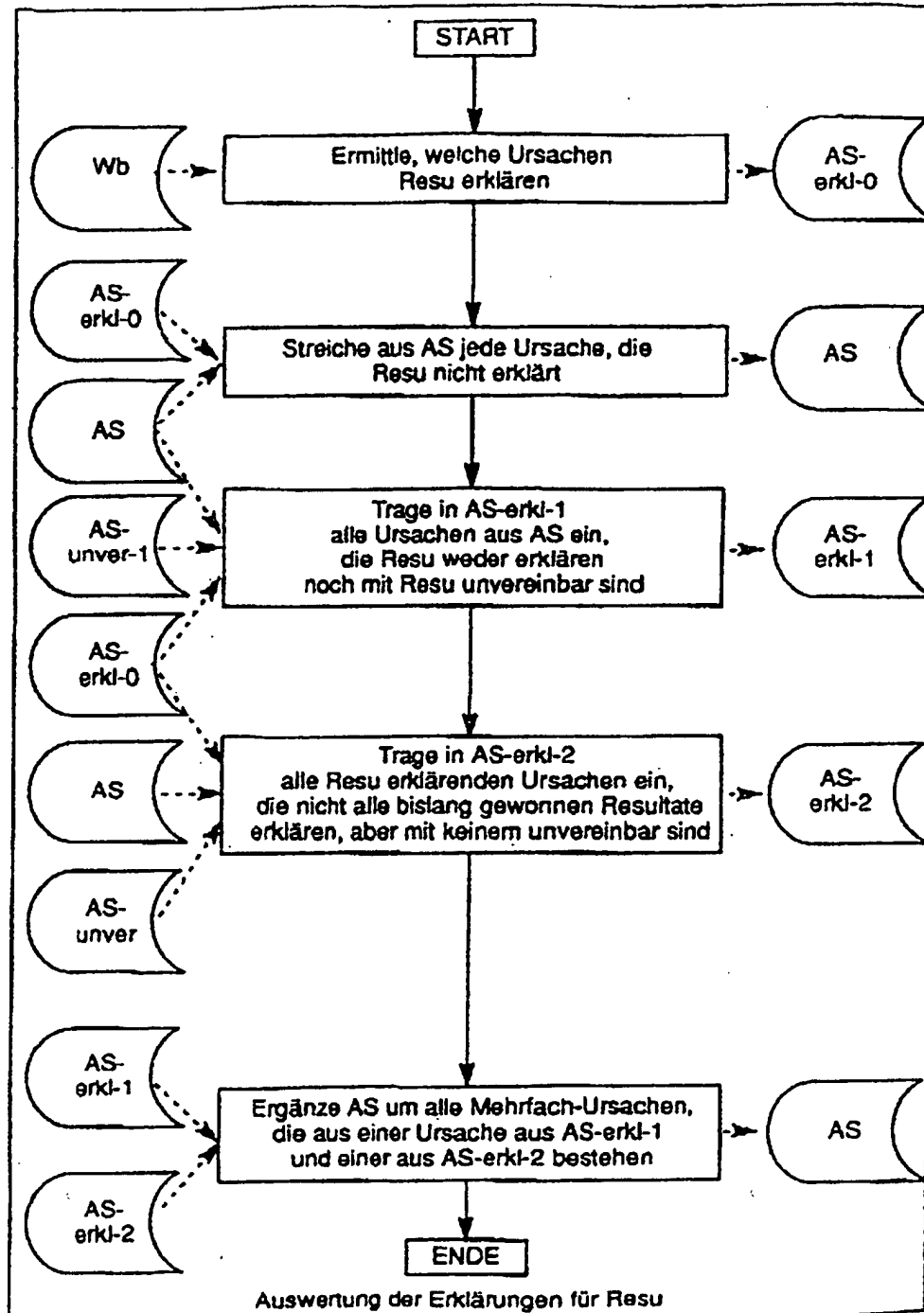
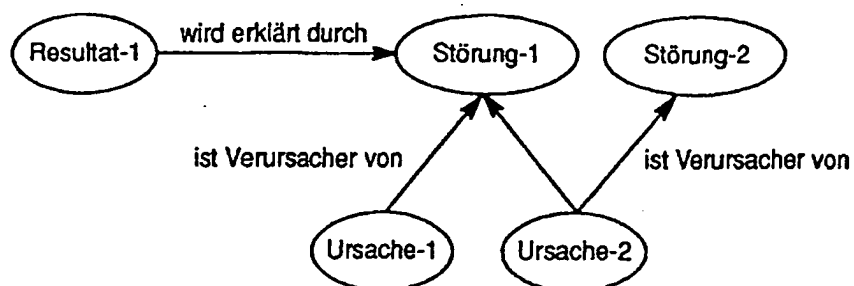
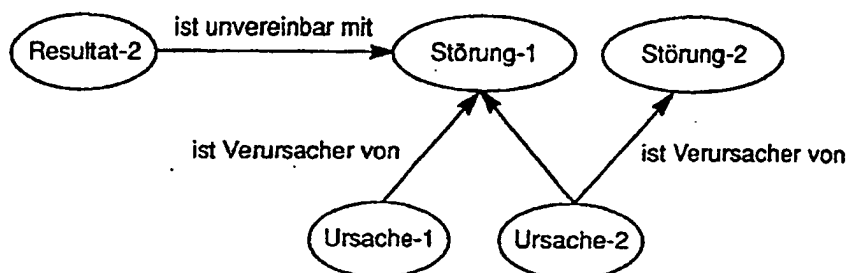
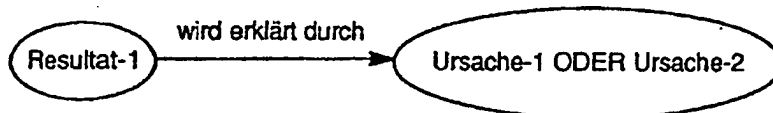


Fig. 11



durch "Extraktion"



durch "Extraktion"

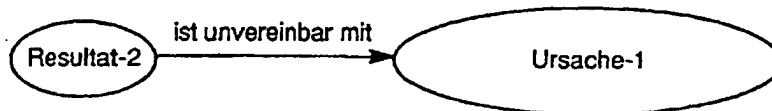


Fig. 12



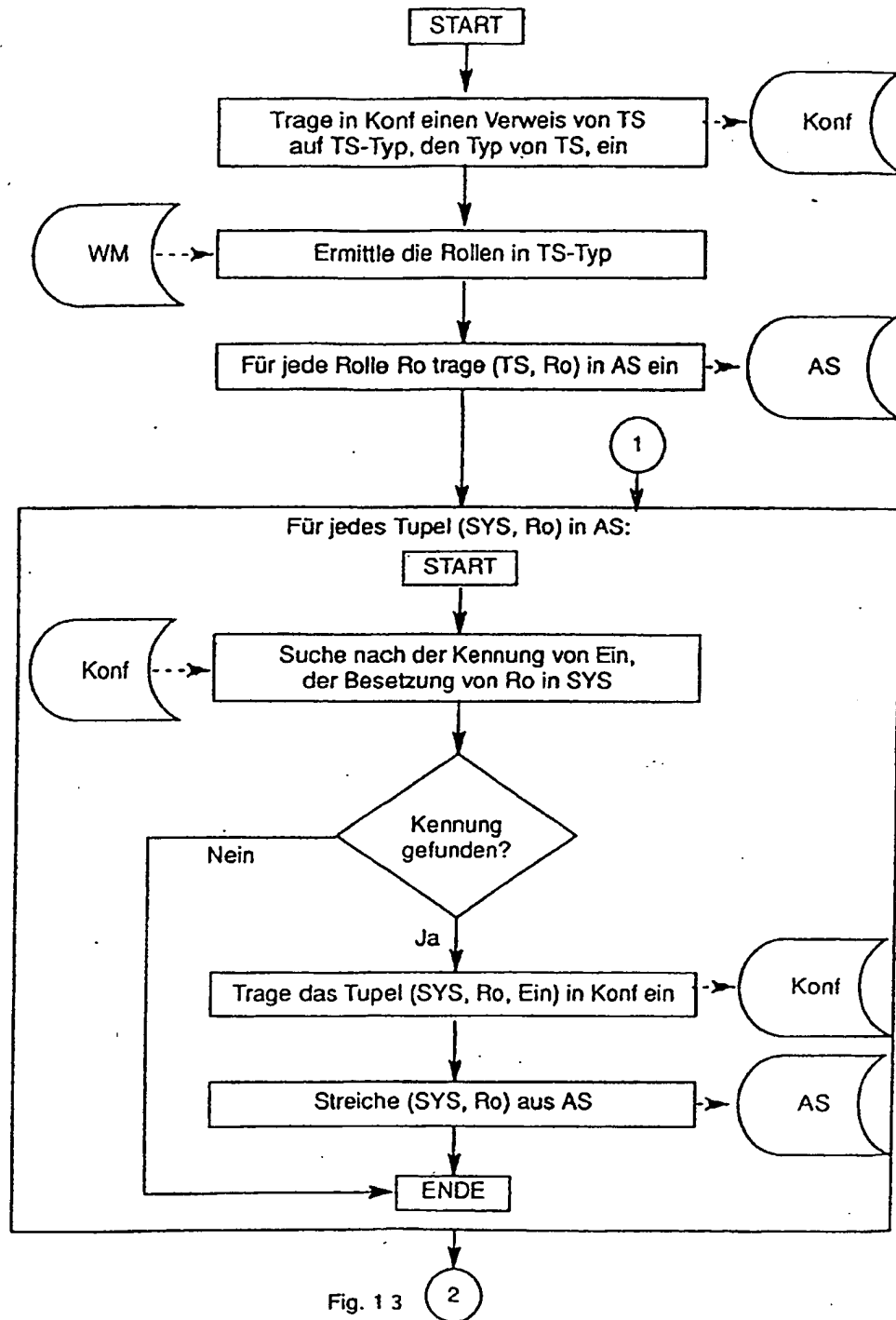


Fig. 13

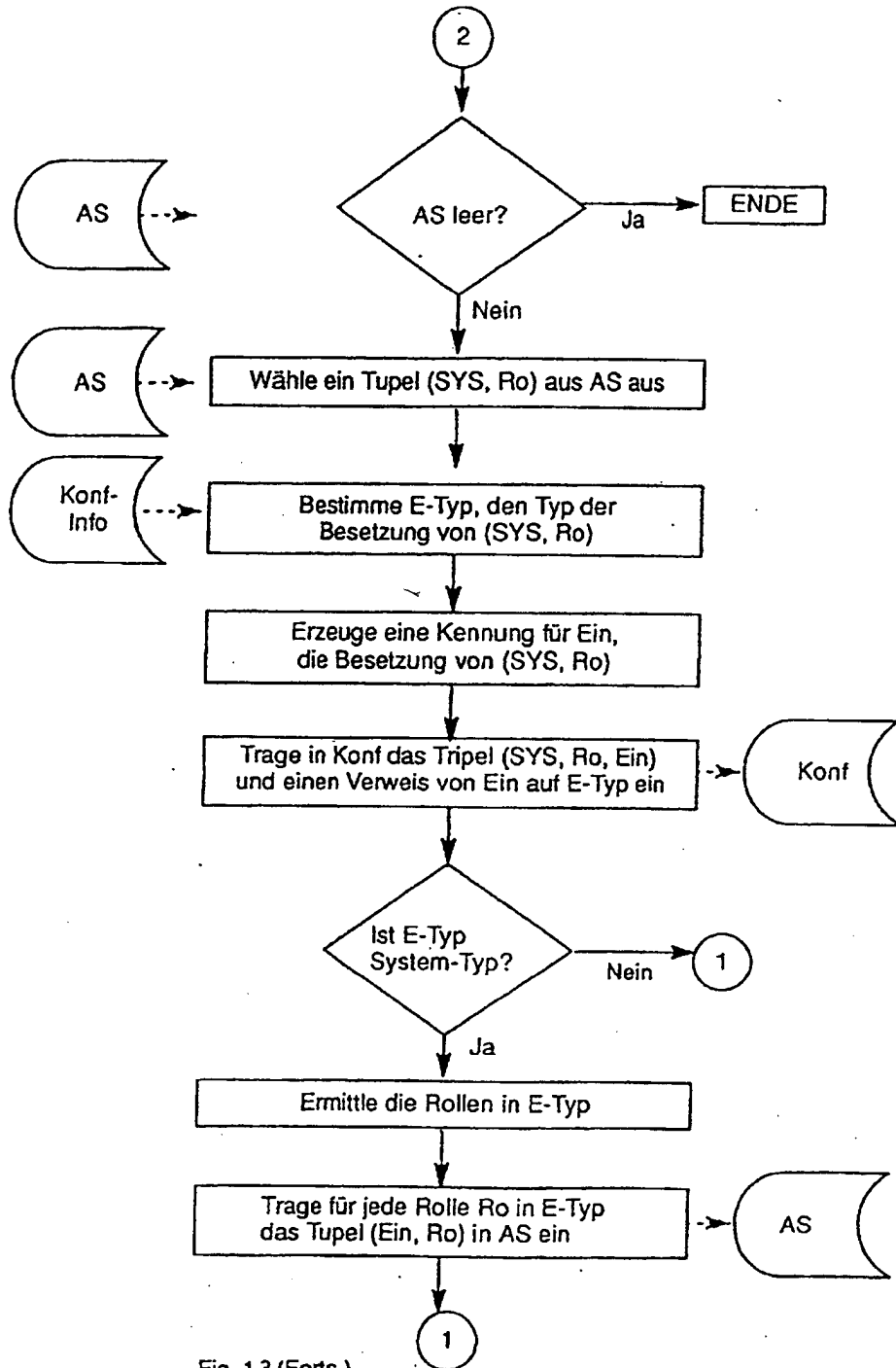


Fig. 13 (Forts.)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**